

363-f392
1RA
u c1

**UNJUK KERJA CATALYTIC CONVERTER TEMBAGA (Cu)
PADA SALURAN GAS BUANG KENDARAAN BERMOTOR UNTUK
MEREDUKSI EMISI GAS CARBON MONOKSIDA**



Tesis

**RM. Bagus Irawan
L 4K 001084**

**PROGRAM MAGISTER ILMU LINGKUNGAN
PROGRAM PASCASARJANA
UNIVERSITAS DIPONEGORO
SEMARANG
2003**

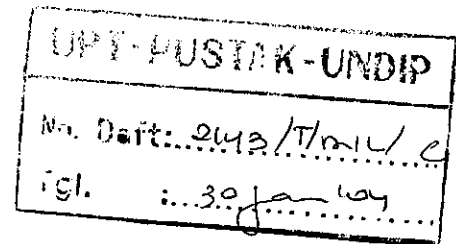
UPT-PUSTAK-UNDIP

TESIS

UNJUK KERJA CATALYTIC CONVERTER TEMBAGA (Cu) PADA SALURAN GAS BUANG KENDARAAN BERMOTOR UNTUK MEREDUKSI EMISI GAS CARBON MONOKSIDA

Disusun oleh

RM. Bagus Irawan
L 4K 001084



**Diajukan kepada Program Magister Ilmu Lingkungan
Sebagai salah satu syarat Ujian Tesis**

Menyetujui,

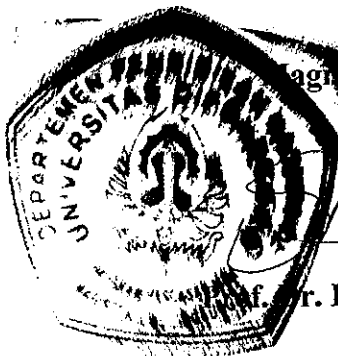
Pembimbing I

Dr. Ir Setyo Budi Sasongko, DEA

Pembimbing II

Ir. Indro Sumantri, M.Eng

**Mengetahui,
Ketua Program
Magister Ilmu Lingkungan**



Dr. H. Sudharto P. Hadi, MES

Judul Tesis : Unjuk Kerja Catalytic Converter Tembaga (Cu) Pada Saluran Gas Buang Kendaraan Bermotor Untuk Mereduksi Emisi Gas Carbon Monoksida.

Nama : RM. Bagus Irawan

NIM : L 4K 001084

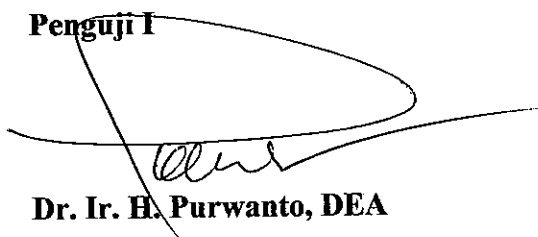
Program Studi : Magister Ilmu Lingkungan

Konsentrasi : Rekayasa Lingkungan

**Telah dipertahankan di depan Tim Penguji
Pada tanggal 11 Agustus 2003
Dan dinyatakan telah memenuhi syarat untuk diterima**

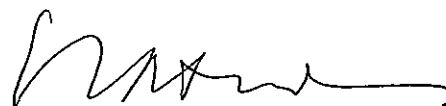
Menyetujui :

Penguji I



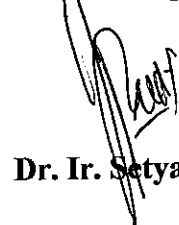
Dr. Ir. H. Purwanto, DEA

Penguji II



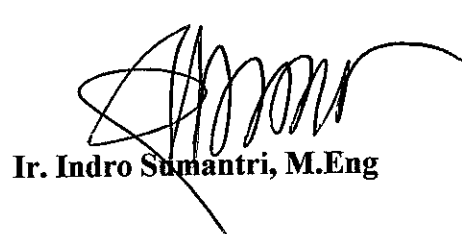
Ir. Nasrullah, MS

Pembimbing I



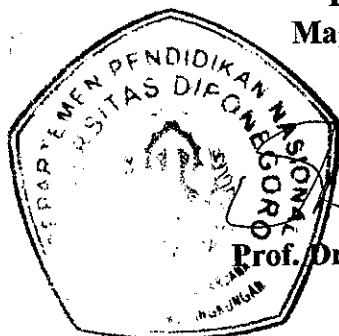
Dr. Ir. Setya Budi Sasongko, DEA

Pembimbing II



Ir. Indro Sumantri, M.Eng

**Ketua Program Studi
Magister Ilmu Lingkungan**



Prof. Dr. H. Sudharto P. Hadi, MES

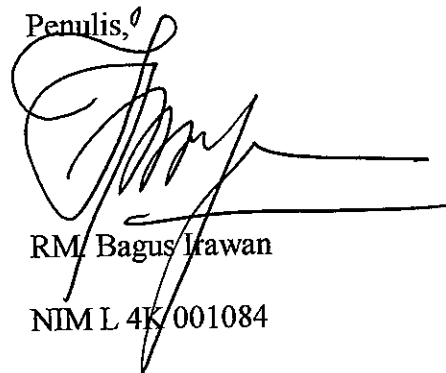
PERNYATAAN

Pembuatan tesis ini adalah hasil dari penelitian yang bersifat eksplorasi laboratories yang dikerjakan dan dirancang sendiri, memiliki dimensi yang spesifik dan berbeda dari hasil karya lain yang sejenis atau dari penelitian yang dilakukan sebelumnya. Dan dengan sendirinya tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu Perguruan Tinggi dan Lembaga Pendidikan lainnya.

Informasi dan pengetahuan yang diperoleh dari hasil penerbitan maupun yang belum atau tidak diterbitkan, dengan ataupun dari penulis lain baik yang dipublikasikan atau tidak, telah diberikan penghargaan dimana sumbernya dijelaskan dalam tulisan dan daftar pustaka.

Semarang, Juli 2003

Penulis,



RM. Bagus Irawan

NIM L 4K/001084

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah hirobbil'alamin, saya panjatkan puji syukur kehadiran Allah SWT bahwa atas Ridlo dan Rahmat-Nya, penulis dapat menyelesaikan dan menyusun laporan Tesis ini sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan Program Master di Program Magister Ilmu Lingkungan Universitas Diponegoro Semarang.

Selesainya Tesis dengan judul “ Perancangan Catalytic Converter Tembaga (Cu) Pada Saluran Gas Buang Kendaraan Bermotor Untuk Mereduksi Emisi Gas Carbon Monoksida “ berkat bantuan baik materil maupun moril dari berbagai pihak yang turut andil didalamnya.

Oleh sebab itu, pada kesempatan ini saya mengucapkan terima kasih sekaligus penghargaan yang setinggi-tingginya kepada yang terhormat :

1. Bapak Dr. Ir. Setia Budi Sasongko, DEA selaku pembimbing I.
2. Bapak Indro Sumantri, MEng, selaku pembimbing II.
3. Bapak Prof. Dr. H. Sudharto P Hadi, MES selaku Ketua Program Studi Magister Ilmu Lingkungan UNDIP.
4. Bapak Dr. Ir. H. Purwanto, DEA selaku sekretaris bidang akademik dan Ir H. Agus Hadiyanto, MT selaku sekretaris bidang keuangan khususnya yang telah merekomendasi bea siswa dikti BPPS.
5. Ibu Prof. Dr. Hj Istiati Soetomo selaku Rektor Universitas Muhammadiyah Semarang yang telah mengizinkan dan merekomendasi untuk studi lanjut.
6. Bapak Ir Sumarno, MS yang membantu memberikan referensi dan saran-saran awal dalam penyusunan tesis ini.

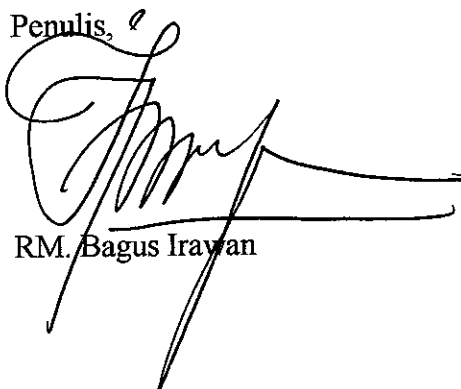
7. Ir. H. Mahirul Mursyid, M.Sc selaku Dosen ITS Surabaya dan rekan yang telah banyak memberikan saran dan masukan serta literature-literatur yang menunjang Tesis ini.
8. Bapak Ignadi selaku kepala Bengkel BMW ASTRA MOBIL Siliwangi Semarang Divisi Jateng yang telah membantu meminjamkan fasilitas Gas Analyzer.
9. Bapak Bayu dan rekan-rekannya selaku mekanik BMW ASTRA MOBIL Siliwangi Semarang Divisi Jateng.
10. Bapak Catur staf Sarang Knalpot Semarang.
11. Staf Administrasi Program Studi Magister Ilmu Lingkungan UNDIP, mbak Greace, mbak Fitri dan mas Agus Hastomo.
12. Ibu Dra Suparni Sri Rayahu, M.Si selaku rekan kuliah yang banyak memberikan masukan dan saran.
13. Rekan tim kerja saudara Anis, Susilo, Rahman dan Lala.
14. Istri Arianti, A.Md dan anak-anakku tercinta Ririn dan Farid yang telah memberikan dorongan moril dan doanya supaya tesis ini cepat selesai.
15. Orang tua tercinta bapak RM. Bhadrawan dan RA Kusmartaniah yang memberikan Ridlo dan senantiasa mendoakan penulis.
16. Semua pihak yang terkait dalam pembuatan tesis ini yang tidak dapat saya sebutkan satu-persatu disini.

Sebagai manusia biasa penulis tidak luput dari segala kekurangan dan keterbatasan, maka sudah sewajarnya apabila tulisan ini masih jauh dari sempurna. Oleh sebab itu sumbang saran guna meningkatkan kualitas laporan tesis ini sangat diharapkan.

Semoga ilmu yang saya dapatkan dapat manfaat dan diamankan serta membawa penulis menuju jalan Ridlo Allah SWT. Dan akhirnya semoga Allah SWT senantiasa memberikan kelapangan jalan Ilahi pada setiap hambanya untuk menuju kehidupan yang abadi kelak.

Semarang, Juli 2003

Penulis,

A stylized handwritten signature in black ink, featuring a large, looping initial 'B' followed by several fluid, connected strokes that end in a long, horizontal tail.

RM. Bagus Irawan

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
HALAMAN PERNYATAAN.....	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR GRAFIK.....	xii
ABSTRAK.....	xiii
BAB I. PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Perumusan Masalah	4
1.3. Tujuan Penelitian	5
1.4 Manfaat Penelitian.....	6
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1. Polusi Udara	7
2.2. Jenis-Jenis Polusi Udara.....	8
2.3. Sumber - Sumber Polusi Udara.....	8

2.4. Polusi Udara Dari Sektor Transportasi Darat	9
2.5. Pembakaran dan Gas Buang.....	11
2.5.1. Mekanisme Kerja Mesin 4 Langkah.....	11
2.5.2. Sumber Utama Emisi pada Kendaraan bermotor....	13
2.5.3. Ambang Baku Mutu Emisi.....	16
2.5.4. Efek Polutan yang Dihasilkan oleh Kendaraan.....	16
2.5.5. Proses Pembakaran Pada Mesin Bensin.....	17
2.5.6. Proses Pembentukan CO dalam Gas Buang.....	18
2.6. Perbandingan Udara dan Bahan Bakar	19
2.7. Teknologi Pengontrol Emisi.....	21
2.8. Catalytic Converter.....	22
2.8.1. Katalis.....	22
2.8.2. Jenis Catalytic Converter.....	23
BAB III. METODOLOGI PENELITIAN	29
3.1. Kerangka Penelitian	29
3.2. Tahapan Penelitian.....	30
3.2.1. Studi Pustaka.....	30
3.2.2. Bahan Penelitian.....	30
3.3. Persiapan Pengujian	33
3.3.1. Persiapan Alat-Alat Pengujian.....	33
3.3.2. Persiapan Kondisi Standart Mesin.....	35
3.4. Tahapan Pengujian.....	36

3.4.1. Pengujian Logam.....	36
3.4.2. Pemanasan Mesin.....	36
3.4.3. Kalibrasi Gas Analyzer.....	37
3.4.4. Pengujian Emisi Gas Buang.....	37
3.5. Variabel Penelitian.....	39
3.6. Analisis Data.....	40
3.7. Tempat dan Waktu Penelitian.....	40
BAB IV. ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN.....	41
4.1. Umum.....	41
4.2. Hasil Pengujian Logam	41
4.3. Pengaruh Pemakaian Catalytic Converter.....	42
4.4. Pengaruh Putaran Mesin Terhadap Emisi Gas Buang.....	43
4.5. Efisiensi Removal Emisi gas Buang CO.....	46
4.6. Pengaruh Pemakaian Cat. Converter Terhadap Temperatur	48
4.7. Pengaruh Waktu yang Dibutuhkan untuk Menghabiskan BB	50
BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN.....	51
5.1. Kesimpulan	51
5.2. Saran.....	53
Daftar Pustaka.....	54
Lampiran	
Daftar Riwayat Hidup	

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar : 1. Komposisi Udara di Atmosfer.....	4
Gambar : 2. Mekanisme Kerja Mesin Bensin 4 Langkah	11
Gambar : 3. Sumber Polusi Pada Kendaraan Bermotor	14
Gambar : 4. Proses Pembakaran Pempurna	17
Gambar : 5. Proses Pembakaran dan Gas Buang	18
Gambar : 6. Hubungan AFR dan Emisi Gas Buang.....	20
Gambar : 7. Sistem Gas Buang dengan Catalytic Converter.....	22
Gambar : 8. Single Bed Oksidation.....	24
Gambar : 9. Dual Bed Oksidation.....	25
Gambar : 10. Single Bed Three Way.....	25
Gambar : 11. Ceramic Pellet.....	26
Gambar : 12. Ceramic Honeycomb.....	27
Gambar : 13. Metallic Honeycomb.....	27
Gambar : 14. Potongan Metallic Honeycomb	28
Gambar : 15. Kerangka Penelitian.....	29
Gambar : 16. Alur Pikir.....	29
Gambar : 17. Material Substrat.....	31
Gambar : 18. Konstruksi Luar	32

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel : 1. Jenis-jenis Pencemar Udara	8
Tabel : 2. Sumber Polusi Udara	9
Tabel : 3. Kontribusi Gas Buang Berdasarkan Jenis Bahan Bakar	10
Tabel : 4. Kontribusi Gas Buang	15
Tabel : 5. Ambang Batas Baku Mutu Emisi	16
Tabel : 6. Efek Polutan Terhadap Manusia	16
Tabel : 7. Pengaruh A/F pada Daya, Bahan Bakar dan Emisi	21
Tabel : 8. Hasil Pengujian Logam Tembaga	41

DAFTAR GRAFIK

	Halaman
Grafik : 1. Pengaruh Pemakaian Catalytic Converter.....	42
Grafik : 2. Pengaruh Lambda Terhadap Emisi CO Tanpa CC.....	44
Grafik : 3. Pengaruh Lambda Terhadap Emisi CO dengan CC 5 Sel.....	44
Grafik : 4. Efisiensi Removal Emisi CO.....	47
Grafik : 5. Pemakaian CC Terhadap Temperatur.....	48
Grafik : 6. Waktu Yang Dibutuhkan Untuk Menghabiskan Bahan Bakar.....	50

UNJUK KERJA CATALYTIC CONVERTER TEMBAGA (Cu) PADA SALURAN GAS BUANG KENDARAAN KENDARAAN BERMOTOR UNTUK MEREDUKSI EMISI GAS CARBON MONOKSIDA*

Abstrak

Pertumbuhan kendaraan bermotor di Indonesia yang cukup pesat (8,38 % / tahun) membawa pengaruh meningkatnya pemakaian Bahan Bakar Minyak, sehingga polusi udara menjadi tidak dapat terelakkan lagi. Kendaraan bermotor merupakan sumber pencemar terbesar dan memberikan kontribusi emisi gas Carbon Monoksida sebesar 67 % dari total polutan yang ada, dimana dari tahun ke tahun tingkat polusi tersebut meningkat seiring dengan meningkatnya pemakaian kendaraan bermotor.

Salah satu hal yang dapat dilakukan oleh peneliti dalam hal penerapan teknologi pengendalian emisi adalah pemasangan Catalytic Converter yang dipasang pada saluran gas buang. Umumnya Catalytic Converter menggunakan jenis katalis logam yang mahal dan jarang terdapat dipasaran (Palladium, Platinum dan Rhodium). Didasarkan pada kenyataan diatas maka dilakukan penelitian skala laboratorium dengan membuat "Perancangan Catalytic Converter dengan menggunakan logam Tembaga (Cu) sebagai katalisnya.

Penelitian ini bertujuan untuk merancang bangun catalytic Converter, untuk mengetahui efesiensi penggunaan logam Tembaga (Cu) sebagai katalis serta untuk mengetahui pengaruh putaran mesin terhadap keluaran emisi CO kendaraan bermotor.

Pengukuran konsentrasi emisi gas buang Carbon Monoksida pada saluran gas buang dilakukan pada kondisi standart dan kondisi pemasangan Catalytic Converter Tembaga (Cu) dengan menggunakan alat GasAnalyzer. Dari hasil penelitian ini di dapatkan bahwa pemakaian Catalytic Converter Tembaga (Cu) dengan variasi sel katalis yang dilakukan dapat mereduksi emisi gas Buang CO. Efesiensi removal tertinggi konsntrasi CO sebesar 38,05 % pada putran 1000 rpm untuk pemasangan 20 sel katalis. Keluaran konsentrasi CO tersebut sangat dipengaruhi oleh perubahan putaran mesin kendaraan dan pencampuran bahan bakar dan udara yang masuk ke ruang bakar. Secara umum pemakaian Catalytic Converter tidak berpengaruh pada performance mesin kendaran.

Kata kunci : Catalytic Converter, katalis Tembaga (Cu), konsentrasi CO

Copper Catalytic Converter's Performance On Frame To Reduce The Emission Of Carbon Monoxide

Abstract

The increasing use of motored vehicle in Indonesia (approximately 8,38 % per year) has caused the excessive demand of fuel. It means that air pollution becomes inevitable consequence. Motored Vehicle has been the significant pollutant for the emission of carbon Monoxide, which is estimated as much as 67 percent of all pollutants. Every year, the level of such pollution goes coherently with the use of motored vehicle.

One thing that can be done in terms of the reduction of the emission is by installing a catalytic converter set on the frame. Generally, a catalytic converter is made of metal catalyst which is expensive and rare in the market, such as Palladium, Platinum and Rhodium. Based on the fact above, a laboratory experiment has been conducted to design catalytic converter made of Copper as the catalyst.

The aims of this experiment are firstly to conducted a catalytic converter, secondly, to find out to what extend Copper as the catalyst is efficient and thirdly to prove the impact of the machine while working towards to production of Carbon Monoxide.

To measure the concentration of Carbon Monoxide on a frame there are two conditions required. Fisrt is when the engine is on, and second is when the Copper catalytic converter is applied using gas analyzer.

This experiment results in the fact that the use of copper catalytic converter with the varian number of its catalyst cell reduces the production of carbon monoxide. When 20 catalyst cells are set in the converter in the engine works under 1000 rpm, it can reduce the production of CO up to 38.03 percent. Basically, the production of CO goes inherently with the change of the rotation, the mixture of the fuel and the air in the engine. However, the use of catalytic converter brings no effect to the performance of the engine.

Key word : Catalytic Converter, Copper as the Catalyst, Concentration CO

Bab I

Pendahuluan

1.1. Latar Belakang.

Krisis ekonomi yang melanda Indonesia sejak tahun 1997 sampai saat ini masih dirasakan dampaknya. Penanganan yang dilakukan oleh pemerintah belum mencapai hasil yang maksimal baik persoalan dan persoalan politik kian tak menentu yang mengakibatkan krisis ini akan sulit diprediksi kapan dapat berakhir.

Dari perjalanan tersebut ada hal yang cukup menarik untuk dikaji secara mendalam, dimana pada masa krisis dunia industri otomotif justru mengalami perkembangan yang cukup signifikan dengan dibukanya kran pemerintah tentang import mobil dan motor asing. Secara logika seharusnya krisis ekonomi membawa dampak penurunan daya beli masyarakat, tetapi justru sebaliknya dimana terjadi peningkatan pertumbuhan jumlah kendaraan bermotor di Indonesia. Pertumbuhan tersebut akan membawa pengaruh meningkatnya pemakaian Bahan Bakar Minyak dan dengan sendirinya polusi udara akibat dari emisi buang kendaraan bermotor menjadi tidak dapat terelakkan lagi.

Dari data Statistik Dirjen Perhubungan Darat tahun 2000 menunjukkan peningkatan jumlah kendaraan bermotor yang cukup pesat yang

mencapai 8,38 % / tahun. Data pertumbuhan kendaraan bermotor di Indonesia dari tahun 1995 sampai 2000 diperlihatkan pada tabel 1.1 di bawah ini :

Tabel 1.1. Pertumbuhan kendaraan bermotor

NO	THN	M. PRIBADI	BUS	TRUK	MOTOR	JUMLAH
1	1995	2.107.299	688.525	1.336.177	9.076.832	13.208.832
2	1996	2.410.526	724.914	1.454.585	10.296.077	14.866.102
3	1997	2.639.532	611.402	1548.397	11.735.797	16.535.199
4	1998	2.769.803	626.680	1.586.721	12.628.991	17.611.767
5	1999	2.897.803	632.525	1.650.241	13.053.148	18.224.149
6	2000	2.986.906	652.525	1.652.241	14.654.906	19.966.578

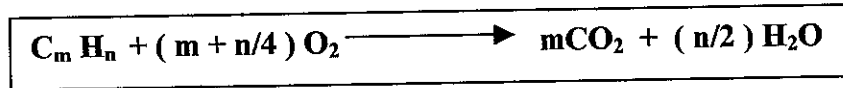
(Sumber : Dirjen Perhubungan darat, 2000)

Peningkatan polusi udara dapat ditimbulkan dari berbagai faktor, salah satunya disebabkan oleh sektor transportasi darat jalan raya. Diperjelas dengan melihat data di atas dan dari berbagai sumber telah dikemukakan bahwa tingkat polusi udara dari emisi gas buang kendaraan bermotor dari tahun ke tahun meningkat sebanding dengan meningkatnya pemakaian kendaraan bermotor.

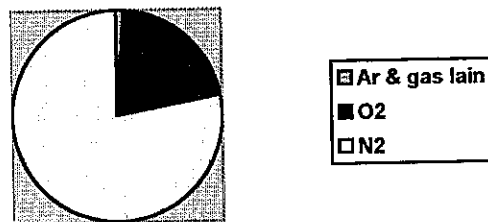
Polusi udara dari emisi gas buang tersebut mengandung unsur-unsur bahan pencemar udara yang berbahaya, terutama bagi manusia yaitu : CO (Carbon Monoksida), HC (Hidrokarbon), NO_x (Nitrogen Dioksida), SO_x (Sulfur Dioksida), dan partikel gas serta debu melayang (Harsanto, 2001).

Dari hasil penelitian terdahulu dijelaskan bahwa kendaraan bermotor merupakan sumber pencemar terbesar dan memberikan kontribusi emisi gas Carbon Monoksida sebesar 67 % dari total polutan yang ada (Intisari, 1998). Kontribusi emisi gas buang Carbon monoksida tersebut terbentuk

karena proses pembakaran bahan bakar yang kurang sempurna di dalam ruang bakar. Pembakaran sempurna dari senyawa hydrocarbon akan menghasilkan Carbon Dioksida (CO_2) dengan reaksi pembakaran sebagai berikut :

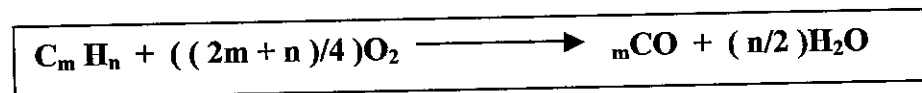


Pada kenyatannya udara mengandung 21 % O_2 dan 78 % N_2 serta Argon dan sisanya gas lain, komposisinya ditunjukkan pada gambar diagram dibawah ini (Swisscontact, 2000) :



Gambar 1.1. Komposisi udara di atmosfer

Disamping itu pembakaran sempurna hanya didapatkan dalam keadaan laboratorium, yang terjadi sesungguhnya adalah proses pembakaran kurang sempurna yang menghasilkan gas Carbon Monoksida (CO) (Arcadio P. Sincero Sr,1995) sebagai berikut :



Untuk mengurangi emisi gas buang tersebut dapat saja dilakukan dengan menbatasi jumlah kendaraan bermotor, hal ini merupakan

kewenangan dari pemerintah pusat sebagai pemegang dan penentu kebijakan nasional yang berhubungan dengan sector transportasi. Pemakaian bahan bakar yang tidak berpolusi atau ramah lingkungan juga merupakan kewenangan dari PERTAMINA sebagai pemasok bahan bakar nasional. Sedang hal yang dapat dilakukan oleh peneliti adalah salah satunya dengan membuat alat pereduksi emisi gas buang kendaraan bermotor berupa Catalytic Converter yang dipasang pada system saluran pembuangan emisi gas. Umumnya yang dipakai untuk jenis kendaraan tertentu (mewah atau built up) adalah Catalytic converter tipe Pelet dan Monolithic. Di dalamnya menggunakan katalis logam mahal harganya dan jarang terdapat dipasaran yaitu : Palladium, Platinum, dan Rodium. Didasarkan pada kenyataan diatas maka dilakukan penelitian skala laboratorium dengan judul : **“ Unjuk Kerja Catalytic Converter Tembaga (Cu) Pada Saluran Gas Buang Kendaraan Bermotor Untuk Mereduksi Emisi Gas Carbon Monoksida “** yang dirancang dan disain sedemikian rupa tanpa meninggalkan aspek sederhana, efisien dan murah.

1.2. Rumusan Masalah.

Pada penelitian ini hanya dibatasi dan difokuskan terhadap konstruksi Catalytic Converter untuk parameter polutan CO dengan komposisi bahan bakar berlebih di bandingkan dengan udara. Adapun rumusan masalah penelitian ini sebagai berikut :

1. Peningkatan jumlah kendaraan bermotor dari tahun ke tahun telah menimbulkan persoalan peningkatan polusi udara yang cukup signifikan, oleh sebab itu perlu adanya suatu teknologi rekayasa yang dapat membuat alat untuk mengurangi emisi gas buang Carbon Monoksida yaitu berupa Catalytic Converter dengan menggunakan jenis katalis logam Tembaga (Cu).
2. Pemakaian Catalytic Converter dengan katalis logam Tembaga (Cu) pada saluran gas buang kendaraan bermotor belum diketahui lebih dalam tentang efesiensi pemakaiannya.
3. Perlu diteliti pula bagaimana pengaruh variasi putaran mesin terhadap keluaran emisi gas buang kendaraan tanpa Catalytic dan dengan menggunakan Catalytic converter.

1.3. Tujuan Penelitian.

Penelitian ini memiliki tujuan sebagai berikut :

1. Pembuatan Catalytic Converter dengan logam Tembaga (Cu) sebagai katalisnya pada saluran gas buang kendaraan bermotor.
2. Mengetahui efesiensi penggunaan logam Tembaga (Cu) sebagai katalis pada Catalytic Converter dalam pengurangan emisi gas Carbon Monoksida (CO).
3. Mengetahui pengaruh variasi putaran mesin terhadap keluaran emisi gas buang CO tanpa Catalytic converter dan dengan Catalytic converter.

1.4. Manfaat Penelitian.

Penelitian ini dilakukan untuk memberikan gambaran kepada masyarakat dalam usaha mencari solusi alternatif dalam pengurangan tingkat polusi udara. Disamping itu manfaat lain yang ingin dicapai :

1. Dengan pendekatan teknologi rekayasa dimungkinkan melakukan modifikasi Catalytic converter untuk mengurangi polusi udara yang sekaligus menunjukkan fungsi teknologi di dalam membantu mengurangi persoalan peningkatan pencemaran udara.
2. Membantu program pemerintah di dalam mewujudkan program langit biru yang telah dicanangkan sejak tahun 2001.
3. Bagi Dirjen Perhubungan darat perlu dilakukannya pensosialisasian akan pentingnya pemakaian Catalytic converter dalam upaya mengurangi emisi gas buang dan memberikan masukan pada institusi terkait.

Bab II

Tinjauan Pustaka

2.1. Polusi Udara

Polusi udara dapat dirasakan semakin hari kian meningkat terutama di daerah yang kepadatan lalu-lintasnya cukup tinggi serta di lokasi industri padat yang kurang memperhatikan dampak lingkungan (**Pramudya, 2001**). Peningkatan tersebut sejalan dengan semakin meningkatnya kebutuhan manusia baik dalam bidang transportasi maupun industri.

Secara definisi polusi adalah perubahan fisik, kimia dan biologi lingkungan yang membahayakan kualitas hidup khususnya manusia, binatang, tanaman, industri dan asset budaya maupun seni.

Menurut badan kesehatan dunia (**WHO**), polusi udara terjadi ketika di udara terdapat polutan udara (zat-zat asing) dalam jumlah dan waktu (periode) tertentu yang dapat membahayakan manusia, binatang, tanaman dan tanah.

Secara umum polusi udara dapat terjadi karena kegiatan transportasi, industri, produksi maupun pertanian (**Bachrun, 1993**).

Sedangkan dari **UUPLH No 23/1997 pasal 1**, polusi udara memiliki arti masuknya bahan – bahan pencemar ke dalam udara sedemikian rupa sehingga mengakibatkan kualitas udara menjadi menurun dan lingkungan tidak berfungsi sebagaimana mestinya.

2.2. Jenis-jenis Polusi Udara.

Polusi udara dapat dibedakan menjadi beberapa jenis seperti pada tabel 2.1. dibawah ini :

Tabel 2.1. Jenis-jenis pencemar udara

NO	Pencemar Udara	Jenisnya
1	Menurut bentuknya	1. Gas 2. Partikel
2	Menurut tempatnya	1. Indoor 2. Outdoor
3	Menurut asalnya	1. Primer 2. Sekunder
4	Susunan kimia	1. Organik 2. Anorganik
5	Gangguan Kesehatan	1. Iritansia 2. Toksis

(Sumber : Sitepoe. Mangku, 1997)

2.3. Sumber Polusi Udara.

Polusi udara dapat berasal dari berbagai macam sumber. Dari berbagai sumber tersebut dapat dikelompokkan menjadi dua, yaitu : sumber alami dan sumber aktifitas manusia (**Pramudya, 2001**).

Pada umumnya polusi udara yang disebabkan oleh faktor alam (peristiwa alami), seperti :

- Debu akibat letusan gunung berapi.
- Asap dan partikel dari kebakaran hutan.

- Proses pembusukan sampah organik.
- Debu yang berterbangan akibat tiupan angin.

Sedang polusi udara yang disebabkan karena aktifitas manusia, seperti :

- Debu / partikel akibat dari kegiatan industri.
- Penggunaan alat transportasi.
- Penggunaan zat-zat kimia yang disemprotkan ke udara.
- Stasiun-stasiun pembakaran.

2.4. Polusi Udara dari Sektor Transportasi Darat.

Polusi udara yang disebabkan oleh transportasi darat yang dinilai sangat dominan salah satunya adalah gas buang kendaraan bermotor. Dimana kontribusi terbesar dari seluruh polutan yang ada adalah gas Carbon Monoksida, seperti terlihat pada tabel 2.2. dibawah ini :

Tabel 2.2. Sumber polusi udara tahun 1980

SUMBER	Polusi (dalam juta ton per tahun)					
	CO	Partikulat	SOx	HC	NOx	Total
Transportasi	69,1	1,4	0,9	7,8	9,1	88,3
Pembakaran bahan bakar	2,1	1,4	19,0	0,2	10,6	33,3
Proses industri	5,8	3,7	3,8	10,8	0,7	24,8
Pembuangan limbah padat	2,2	0,4	0,0	0,6	0,1	3,3
Lain-2 (k. hutan, pertanian	6,2	0,9	0,0	2,4	0,2	9,7
Total	85,4	7,8	23,7	21,8	20,7	159,4

(Sumber : Howard S. Peavy, 1985)

Sebuah kendaraan dari proses bekerjanya dapat menghasilkan polutan berupa gas Carbon monoksida (CO), Hidrokarbon (HC), Nitrogen oksida (NO_x), Sulfur Oksida (SO_x) dan Timbal (Pb) yang sering disebut sebagai polutan primer (Arya Wardhana, W, 1995).

Sedangkan dilihat dari jenis bahan bakar yang digunakan oleh kendaraan, besarnya kontribusi emisi gas buang yang diteliti oleh Pertamina ditunjukkan pada tabel 2.3. dibawah ini : (Pertamina Jakarta, 2001)

Tabel 2.3. Kontribusi gas buang berdasarkan jenis bahan bakar

Jenis Gas Buang	Kontribusi Berdasarkan jenis BBM	
	Bensin (%)	Diesel (%)
Karbonmonoksida (CO)	89,0	11,0
Hidrokarbon	73,0	27,0
NO _x	61,0	39,0
SO ₂	15,0	85,0
Timah Hitam (Pb)	100,0	0,0
CO ₂	53,0	47,0
Asap	1,0	99,0

(Sumber : Pertamina Jakarta, 2001)

Penelitian yang dilakukan oleh Dirjen Perhubungan Darat mengemukakan bahwa besar kecilnya keluaran polutan emisi gas buang kendaraan bermotor terhadap lingkungan tergantung pada beberapa hal (Dirjen Perhubungan Darat, 2000) :

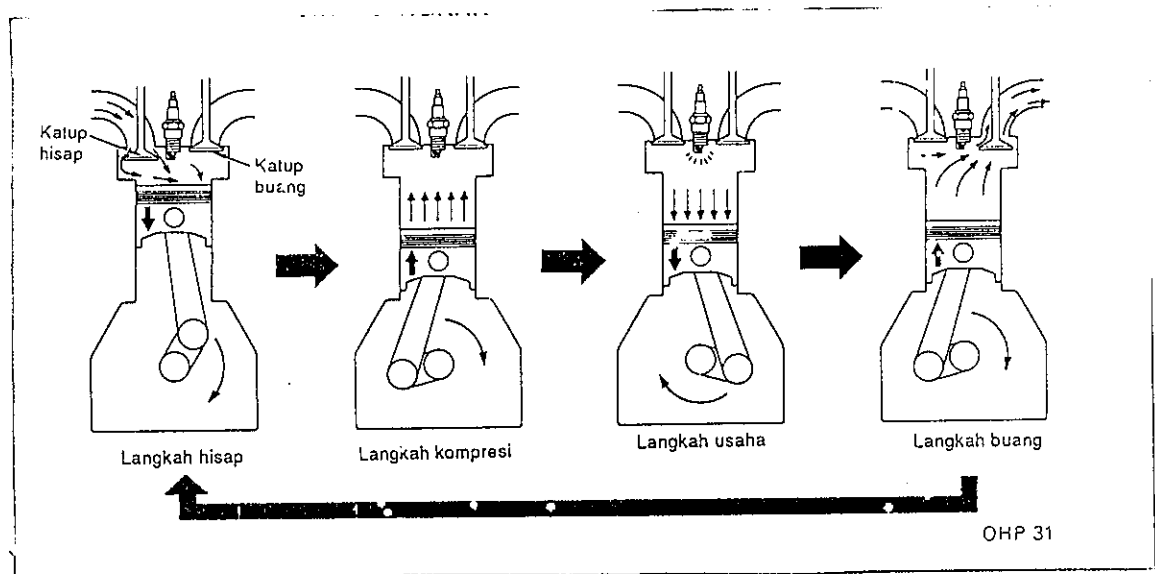
1. Kecepatan kendaraan bermotor.
2. Kualitas pengapain.
3. Kepadatan lalu-lintas

4. Kilometer tempuh kendaraan bermotor.
5. Volume mesin kendaraan bermotor
6. Pemilihan bahan bakar.

2.5. Pembakaran dan Gas Buang.

2.5.1. Mekanisme Kerja Mesin Bensin 4 Langkah.

Pada motor bensin, proses pembakaran campuran bensin dan Oksigen pada perbandingan tertentu dibakar dengan bantuan percikan busi setelah dimampatkan, sehingga diperoleh panas untuk menggerakkan mesin. Pada prinsipnya terdapat 4 langkah pada ruang bahan bakar yaitu : langkah hisap, kompresi, ekspansi dan langkah buang (New Step 1 Toyota, 1995).



Gambar 2.1. Mekanisme kerja mesin bensin 4 langkah

- **Langkah Hisap**

Dalam langkah ini, campuran udara dan bensin dihisap ke dalam silender. Katup hisap terbuka sedangkan katup buang tertutup. Waktu torak bergerak ke bawah, menyebabkan ruang silender menjadi vakum, masuknya campuran udara dan bensin ke dalam silender disebabkan adanya tekanan udara luar (atmospheric pressure).

- **Langkah Kompresi**

Dalam langkah ini, campuran udara dan bensin dikompresikan dimana katup hisap dan katup buang dalam posisi tertutup. Waktu torak mulai naik dari Titik Mati Bawah (TMB) ke Titik Mati Atas (TMA) campuran dikompresikan akibatnya tekanan dan temperaturnya menjadi naik sehingga akan mudah terbakar. Poros engkol berputar satu kali, ketika torak mencapai TMA.

- **Langkah Usaha**

Dalam langkah ini, mesin menghasilkan tenaga untuk menggerakkan kendaraan. Sesaat sebelum torak mencapai TMA pada saat langkah kompresi, busi memberi loncatan api pada campuran tersebut. Dengan terjadinya pembakaran , kekuatan dari tekanan gas pembakaran yang tinggi mendorong torak ke bawah. Usaha ini menjadi tenaga mesin (engine power).

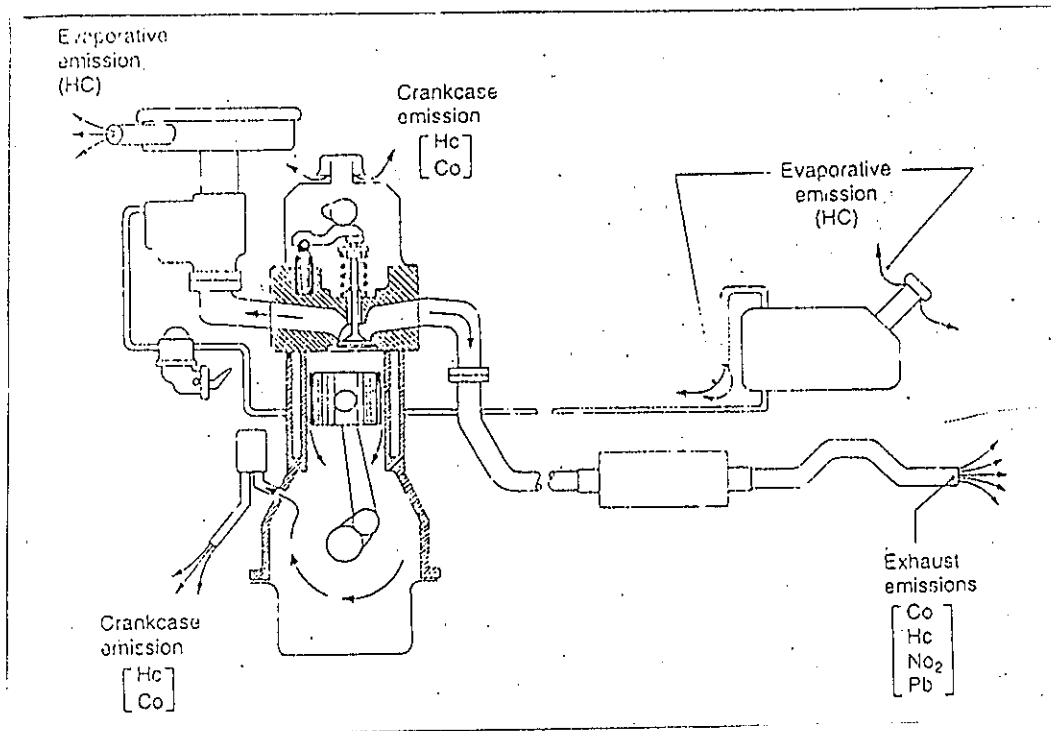
- **Langkah Buang**

Dalam langkah ini, gas yang terbakar dibuang dari dalam silender. Katup buang terbuka, torak bergerak dari TMB ke TMA, mendorong gas bekas keluar silender. Ketika torak mencapai TMA, akan mulai bergerak lagi untuk persiapan berikutnya, yaitu langkah hisap. Poros engkol telah melakukan 2 putaran penuh dalam 1 siklus yang terdiri dari 4 langkah.

2.5.2. Sumber Utama Emisi Pada Kendaraan Bermotor.

Dari proses kerja sebuah mesin kendaraan dapat menghasilkan polutan berupa gas CO (Carbon Monoksida), HC (Hidrokarbon), Nox (Nitrogen Oksida), SOx (Sulfur Oksida), Pb (Timbal) dan Partikulat. Gas Polutan tersebut dihasilkan dan bersumber dari berbagai bagian pada kendaraan. Bagian kendaraan bermotor yang menghasilkan gas polutan (Heisler, 1995) adalah :

- Crankcase system (ruang engkol).
- Sistem tangki bahan bakar.
- Sistem saluran gas buang (knalpot).



Gambar 2.2. Sumber polusi pada kendaraan bermotor.

- **Ruang Engkol (Crankcase System)**

Di dalam rumah mesin terdapat piston dan ring piston pada silender. Ketika mesin sedang beroperasi, bagian tersebut saling bergesekan dengan dinding silender untuk mengkompresikan gas agar terjadi ledakan atau pembakaran campuran udara dan bahan bakar. Dari ventilasi ruang mesin akan keluar gas sisa pembakaran berupa Hidrokarbon (HC) dan Carbon Monoksida (CO).

Disamping itu dapat juga lewat lubang isap atau lubang buang dari ruang pembakaran. Gas tersebut dapat keluar pada saat kendaraan beroperasi atau dihidupkan. Pada kondisi standby atau dalam kondisi mesin mati tidak mengeluarkan gas.

- **Sistem Bahan Bakar (The Fuel System)**

Gas Hidrokarbon dapat muncul pada system ini saat terjadi proses evaporasi bahan bakar. Dari tangki bahan bakar, melalui lubang ventilasinya dapat mengeluarkan gas tersebut. Selain dari tangki bahan bakar dapat pula keluar dari karburator, akibat dari temperatur yang tinggi terutama saat kendaraan stop (motor dihentikan) dan Start (saat akan dijalankan).

- **Sistem Saluran Gas Buang (The Exhaust System)**

Saluran ini dapat menghasilkan gas polutan CO, HC, NO_x, SO_x, Pb dan partikulat. Gas ini merupakan gas sisa hasil pembakaran bahan bakar pada saat mesin beroperasi.

Kontribusi gas buang kendaraan bermotor tanpa kontrol emisi diperlihatkan pada tabel 2.4. dibawah ini :

Tabel 2.4. Kontribusi gas buang

Sumber Polutan	CO (%)	NO _x (%)	HC (%)
Ruang engkol	1 – 2	1 – 2	25
Sistem bahan bakar	0	0	10
Gas Buang	98 – 99	98 – 99	65

(Sumber : Arismunandar. Wiranto, 1983)

2.5.3. Ambang batas Baku Mutu Emisi.

Standar emisi gas buang kendaraan bermotor yang telah ditetapkan oleh pemerintah berdasarkan keputusan menteri Lingkungan Hidup nomer : **35/MENLH/10/1993 tanggal 15 Oktober 1993** tentang ambang batas emisi gas buang kendaraan bermotor, seperti pada tabel 2.5. dibawah ini :

Tabel 2.5. Ambang batas baku mutu emisi

Tipe Kendaraan	BBM	Baku Mutu Emisi		
		CO (%)	HC (ppm)	Asap (%)
Mobil	Bensin	4,5	1200	-
Mobil	Gas	4,5	1200	-
Mobil / Bus / Truk	Solar	-	-	50
Spd Motor 4 tak	Bensin	4,5	1200	-
Spd Motor 2 tak	Bensin	4,5	1200	-

(Sumber : Kep. MENLH, 1993)

2.5.4. Efek Polutan yang Dihasilkan oleh Kendaraan.

Gas Polutan dapat menimbulkan pengaruh buruk khususnya pada manusia. Efek tersebut disajikan dalam tabel 2.6. dibawah ini

Tabel 2.6. Efek polutan terhadap manusia.

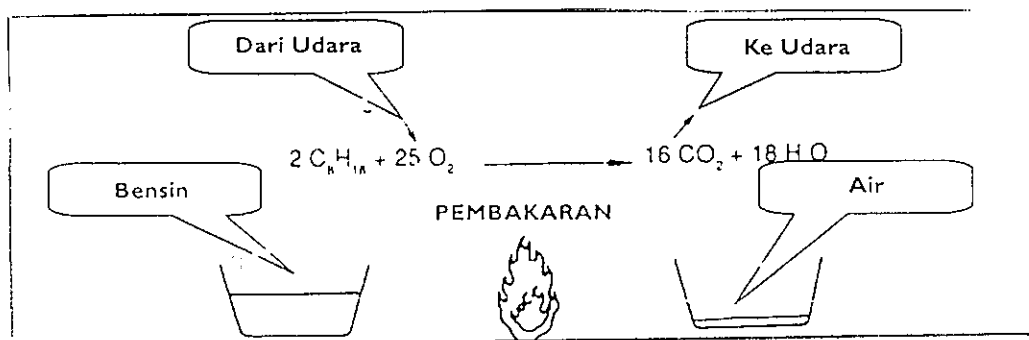
Polutan	Efek
Carbon Monoksida (CO)	CO mengikat Hemoglobin darah (Hb) manusia akibatnya darah kekurangan oksigen dan mengganggu saraf pusat. Pada konsentrasi yang tinggi dan waktu tertentu berakibat pingsan dan kematian.

Hidrokarbon (HC)	Menyebabkan iritasi pada mata dan hidung. Selain itu beresiko terserang kanker.
Nitrogen Oksida (NOx)	Menyebabkan iritasi mata, hidung dan tenggorokan, juga mengganggu saraf pusat.
Sulfur Oksida (SOx)	Iritasi system membran pernafasan, menyebabkan bronchitis.
Timbal (Pb)	Racun saraf dan penyebab gangguan perkembangan otak pada janin anak – anak, juga tekanan darah tinggi.
Partikulat	Mengganggu fungsi paru – paru (flek hitam)

(Sumber : Swisscontact, 2000)

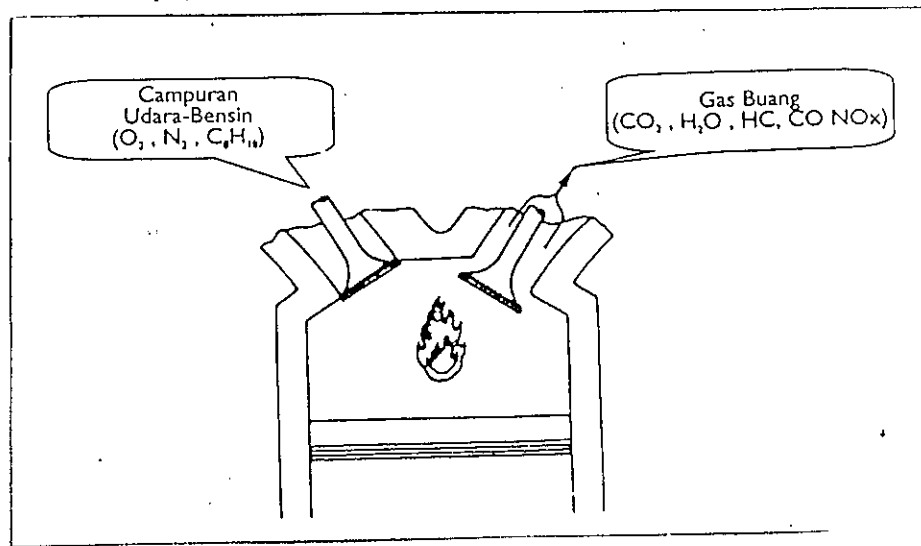
2.5.5. Proses Pembakaran Pada Mesin Bensin.

Pembakaran pada mesin bensin terjadi karena adanya tiga komponen yaitu : bahan bakar, oksigen dan panas. Secara teoritis pembakaran sempurna diasumsikan bahwa semua bahan bakar dalam hal ini bensin terbakar sempurna dengan perbandingan udara dan bahan bakar 14,7 : 1. Pembakaran ini akan menghasilkan Karbon Dioksida (CO₂) yang nantinya akan terlepas di udara dan air (H₂O) (Swisscontact, 2000).



Gambar 2.3. Proses pembakaran sempurna

Pada prakteknya pembakaran dalam mesin tidak pernah terjadi dengan sempurna meskipun sudah dilengkapi dengan system kontrol yang canggih.

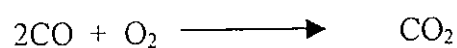
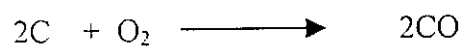


Gambar 2.4. Proses pembakaran dan gas buang

2.5.6. Proses Pembentukan Carbon Monoksida dalam gas Buang.

Gas Carbon Monoksida dihasilkan dari pembakaran yang tidak sempurna akibat dari pencampuran bahan bakar dan udara yang terlalu kaya. Boleh dikatakan bahwa terbentuknya CO sangat tergantung dari perbandingan campuran bahan bakar dan udara yang masuk dalam ruang bakar. Menurut teori bila terdapat oksigen yang melebihi perbandingan campuran teori / ideal (campuran menjadi terlalu kurus) maka tidak akan terbentuk CO. Tetapi kenyataannya CO juga dihasilkan pada saat kondisi campuran kurus. Tiga alasan untuk kondisi diatas adalah :

- Pada proses selanjutnya CO akan berubah menjadi CO₂ ,



akan tetapi reaksi ini lambat dan tidak dapat merubah seluruh sisa CO menjadi CO₂. Oleh sebab itu campuran yang kurus sekalipun masih juga menghasilkan emisi CO.

- Pembakaran yang tidak merata yang ditimbulkan dari tidak meratanya suplai / distribusi bahan bakar di dalam ruang bakar.
- Temperatur di sekeliling silinder yang rendah, yang pada akhirnya menyebabkan peristiwa **Quenching**, artinya temperatur terlalu rendah untuk terjadinya pembakaran, sehingga api tidak mencapai daerah ini di dalam silinder.

2.6. Perbandingan Udara dan Bahan Bakar.

Dalam teori Stoichiometric menyatakan, untuk membakar 1 gram bensin dengan sempurna dibutuhkan 14,7 gram udara. Dengan kata lain perbandingan campuran ideal adalah 14,7 : 1. Perbandingan ini disebut AFR (Air – Fuel Ratio). Pada alat uji emisi yang menggunakan istilah AFR, ketika dilakukan pengujian emisi dapat menampilkan angka yang berbeda, dimana :

- $AFR = 14,7$ berarti campuran ideal.
- $AFR > 14,7$ berarti campuran kurus / miskin.
- $AFR < 14,7$ berarti campuran gemuk / kaya.

Lambda (λ).

Untuk menyatakan perbandingan antara teori dan kondisi nyata suatu campuran bahan bakar dan udara dinyatakan dengan Lambda (Swisscontact, 2000). Secara sederhana dapat dituliskan sebagai berikut :

$$\lambda = \frac{\text{jumlah udara sesungguhnya}}{\text{Teori Stoichiometric}}$$

Jika jumlah udara sesungguhnya 14,7 maka,

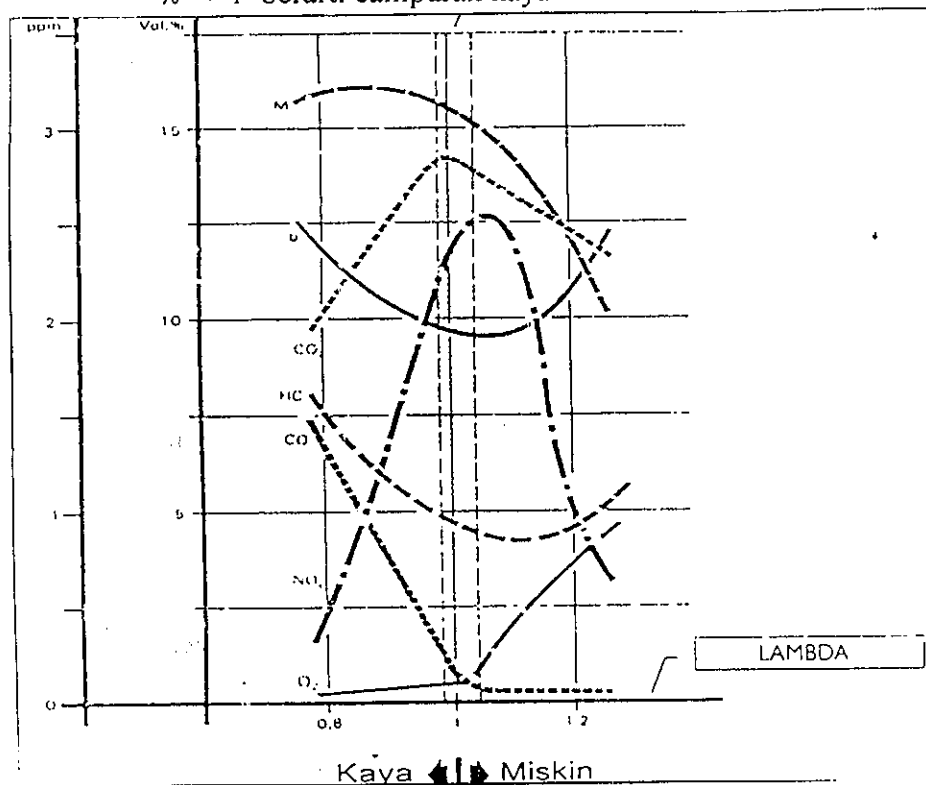
$$\lambda = \frac{14,7}{14,7} = 1$$

14,7 : 1

Artinya : $\lambda = 1$ berarti campuran ideal

$\lambda > 1$ berarti campuran kurus

$\lambda < 1$ berarti campuran kaya



Gambar 2.5. Hubungan AFR dan emisi gas buang.

Tabel 2.7. Pengaruh A/F pada daya, bahan bakar dan emisi.

Parameter	A/F > 14,7	A/F = 14,7	A/F < 14,7
Daya	Kecil	Rata - rata	Tertinggi
Konsumsi bahan bakar	Terbaik	Rata - rata	Tertinggi
CO	Rendah	Medium	Tinggi
HC	Rendah	Medium	Tinggi
NOx	Tinggi	Medium	Rendah

(Sumber : Nevers, 1995)

2.7. Teknologi Pengontrolan Emisi.

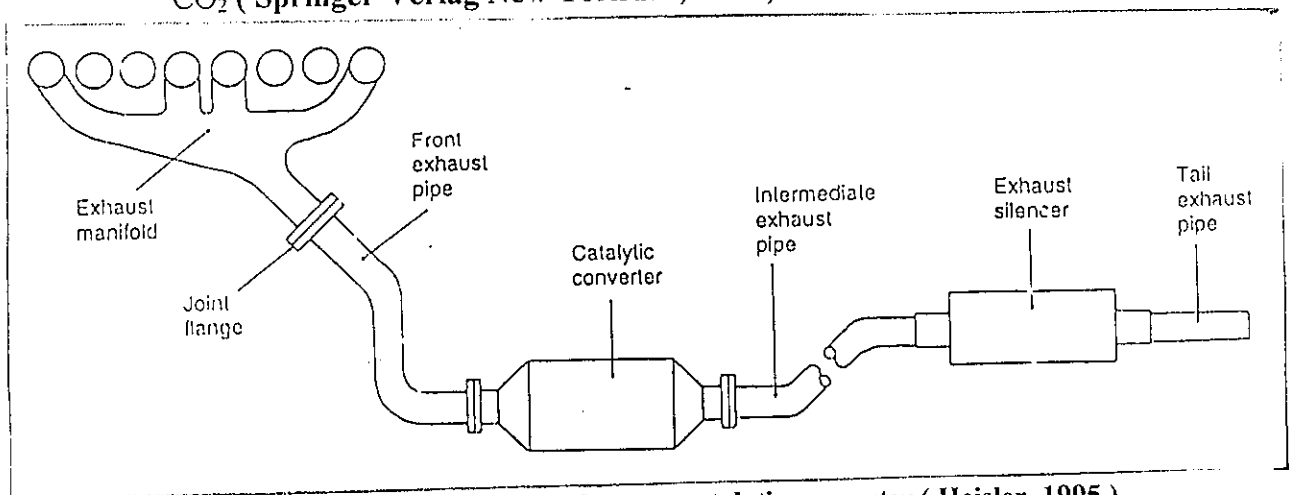
Pengontrolan emisi yang dilakukan untuk mereduksi gas buang yang berbahaya pada kendaraan bermotor sudah banyak dilakukan, terutama di negara-negara maju. Metode dan teknik yang dilakukan ada beberapa macam, antara lain dengan jalan melakukan pemilihan bahan bakar, pemilihan proses dan perawatan mesin. Untuk mereduksi gas buang kendaraan bermotor tersebut, metode yang biasanya dipakai adalah :

- Modifikasi Mesin.
- Modifikasi pada saluran gas buang.
- Modifikasi penggunaan bahan bakar atau system bahan bakarnya.

Pada tesis ini metode ke dua yang akan dipakai untuk mereduksi emisi gas buang kendaraan bermotor yaitu dengan pembuatan dan pemasangan catalytic converter pada saluran gas buang.

2.8. Catalytic Converter.

Catalytic converter merupakan alat yang digunakan sebagai kontrol emisi gas buang yang diletakkan setelah exhaust manifold pada system pembuangan kendaraan bermotor (**Husselbee, 1985**). Pada Catalytic Converter terdapat media yang bersifat katalis, dimana media tersebut diharapkan dapat membantu atau mempercepat terjadinya proses perubahan suatu zat / reaksi kimia sehingga gas seperti CO dapat teroksidasi menjadi CO_2 (**Springer-Verlag New York Inc, 1970**).



Gambar 2.6. Sistem gas buang dengan catalytic converter (**Heisler, 1995**)

2.8.1. Katalis.

Katalis merupakan suatu zat yang mempengaruhi kecepatan reaksi tetapi tidak dikonsumsi dalam reaksi dan tidak mempengaruhi kesetimbangan kimia pada akhir reaksi. Di dunia industri katalis telah digunakan secara luas, terutama pada industri kimia. Akhir-akhir ini katalis juga digunakan untuk menangani masalah polusi udara, terutama untuk mengurangi emisi gas Carbon Monoksida pada kendaraan bermotor.

Bahan – bahan yang dapat digunakan sebagai katalis adalah menggunakan logam – logam mulia antara lain Platinum, Rhodium dan Palladium. Namun karena jumlahnya terbatas dan harga mahal maka membatasi pemakaiannya.

Pada penelitian terdahulu telah dilakukan pengujian dengan menggunakan logam Tembaga (Cu) berupa kawat email yang dibentuk menjadi lilitan yang dipasang pada knalpot sepeda motor dua tak. Katalis Cu ini mampu mereduksi emisi gas Carbon Monoksida (CO) sampai 5,78 %. Dengan semakin banyaknya jumlah lilitan Cu terdapat kecenderungan penurunan kadar CO. (Aryanto, Arief, 2000).

Dari hasil penelitian tersebut maka akan digunakan pula logam Tembaga (Cu) yang akan diujikan pada kendaraan bermotor roda empat. Pemilihan katalis tersebut juga didasari oleh harga yang relatif murah dan banyak terdapat di pasaran.

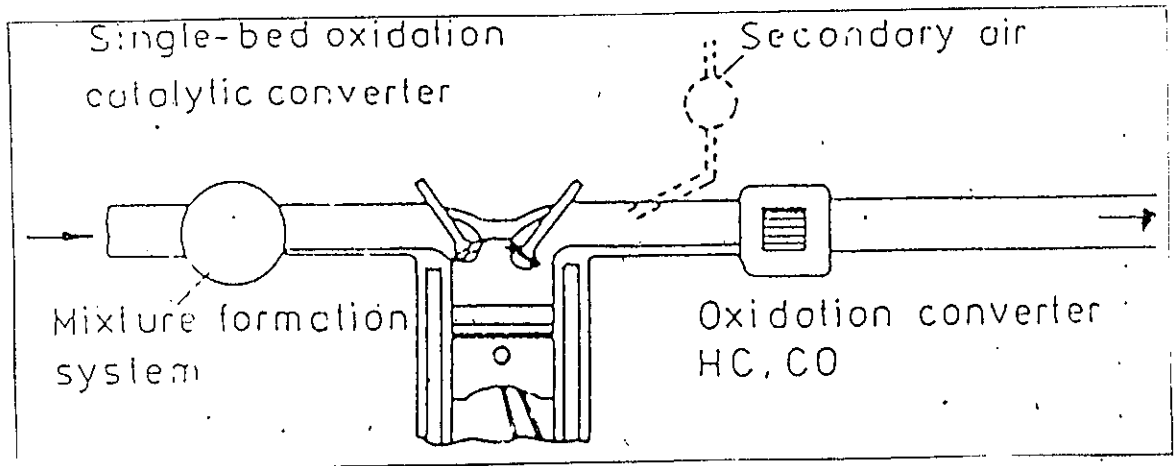
2.8.2. Jenis Catalytic Converter.

Catalytic Converter yang umum dipakai ada berbagai macam bentuk, secara garis besar dapat digolongkan menjadi tiga golongan yaitu :

1. Catalytic Converter Oksidasi

System ini sering disebut juga Single Bed Oksidation, mampu mengubah CO dan HC menjadi CO₂ dan H₂O. Catalytic jenis ini beroperasi pada kendaraan udara berlebih (Excess air setting). Udara

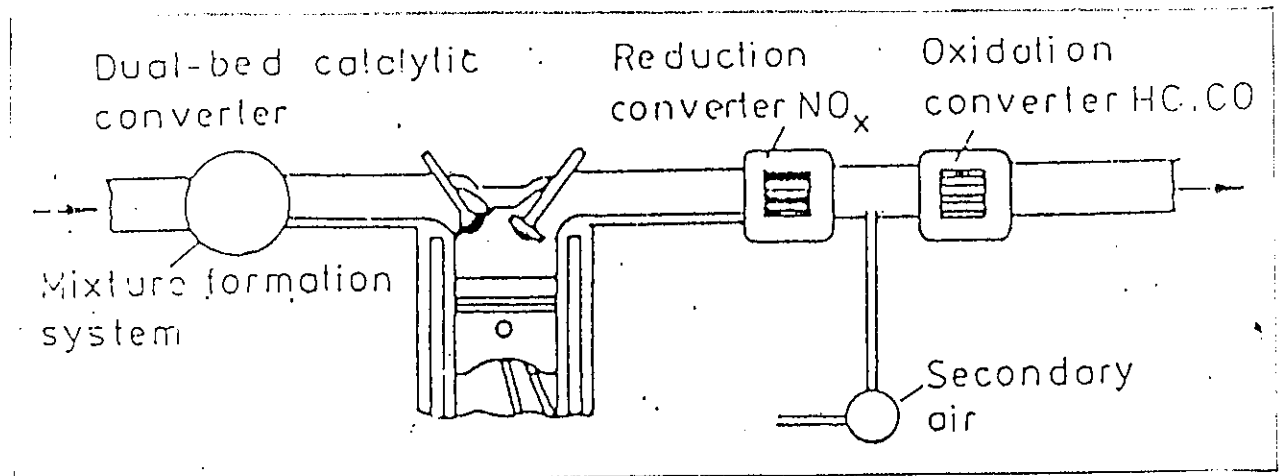
berlebih yang digunakan untuk proses oksidasi dapat diperoleh melalui pengaturan campuran miskin ($\lambda > 1$) dengan system injeksi udara sekunder.



Gambar 2.7. Single bed oksidation (Schafer F, 1995)

2. Catalytic Converter Dual Bed.

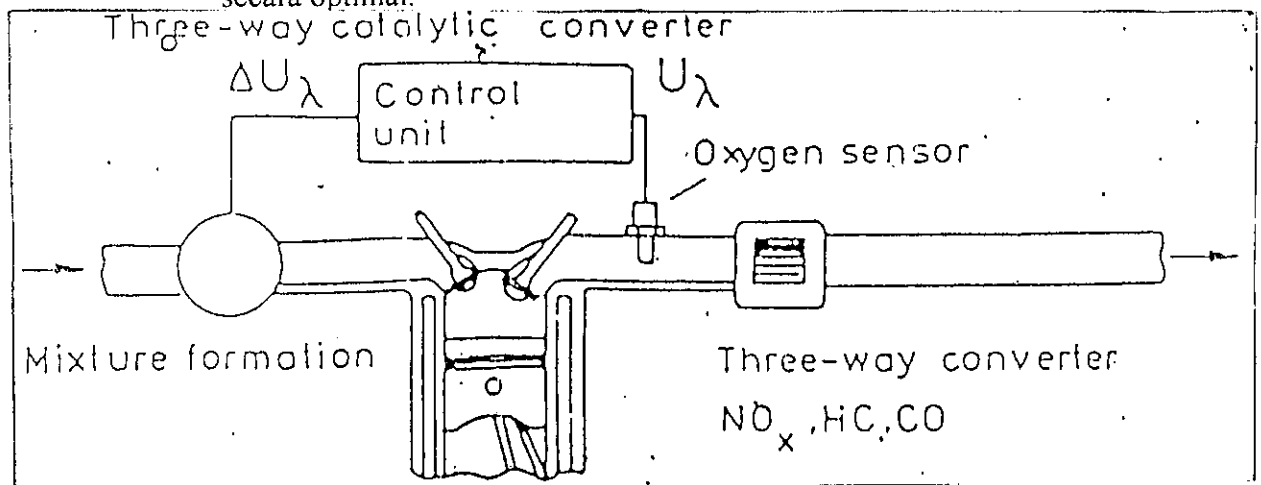
Pada system ini terdiri dari dua system katalis yang dipasang segarais. Di mana gas buang pertama kali mengalir melalui Catalytic Reduksi dan kemudian Catalytic Oksidasi. Sistem yang pertama (bagian depan) merupakan katalis reduksi yang berfungsi menurunkan emisi NO_x , sedang system kedua (bagian belakang) merupakan katalis oksida yang dapat menurunkan emisi HC dan CO Mesin yang dilengkapi dengan system ini biasanya diopersikan dengan kondisi ucampuran kaya ($\lambda < 1$).



Gambar 2.8. Dual bed oksidation (Schafer F, 1995)

3. Tree-way Catalytic Converter.

Pada system ini dirancang untuk mengurangi gas-gas polutan seperti CO, HC dan NO_x yang keluar dari exhaust system dengan cara mengubah melalui reaksi kimia menjadi CO₂, Uap air (H₂O) dan Nitrogen (N₂). Sistem ini menggunakan sebuah system kontrol (lambda sensor) yang dapat mengatur nilai λ sehingga dapat berfungsi secara optimal.



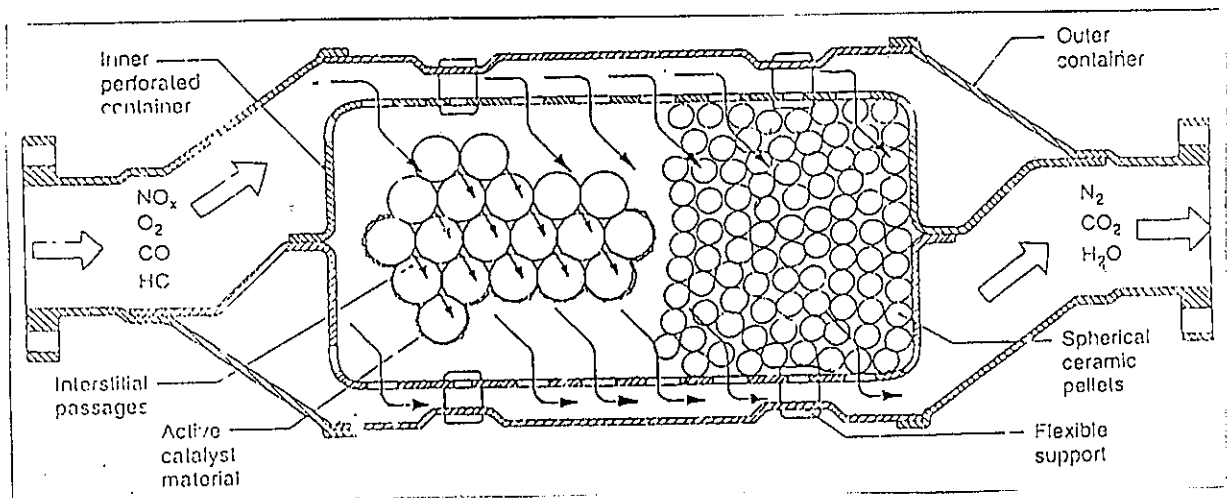
Gambar 2.9. Single bed three way (Schafer F, 1995)

2.8.3. Substrat.

Di dalam Catalytic Converter terdapat substrat yang merupakan bahan dasar dari konstruksinya yang nantinya dilapisi dengan washcoat. Ada 3 jenis substrat yaitu : ceramic pellet, ceramic honeycomb (monolith) dan metallic honeycomb.

- **Ceramic Pellet.**

Ceramic pellet terbuat dari lapisan keramik seperti magnesium – aluminium silikat yang tahan terhadap abrasi pada suhu tinggi sekitar 1000 °C.



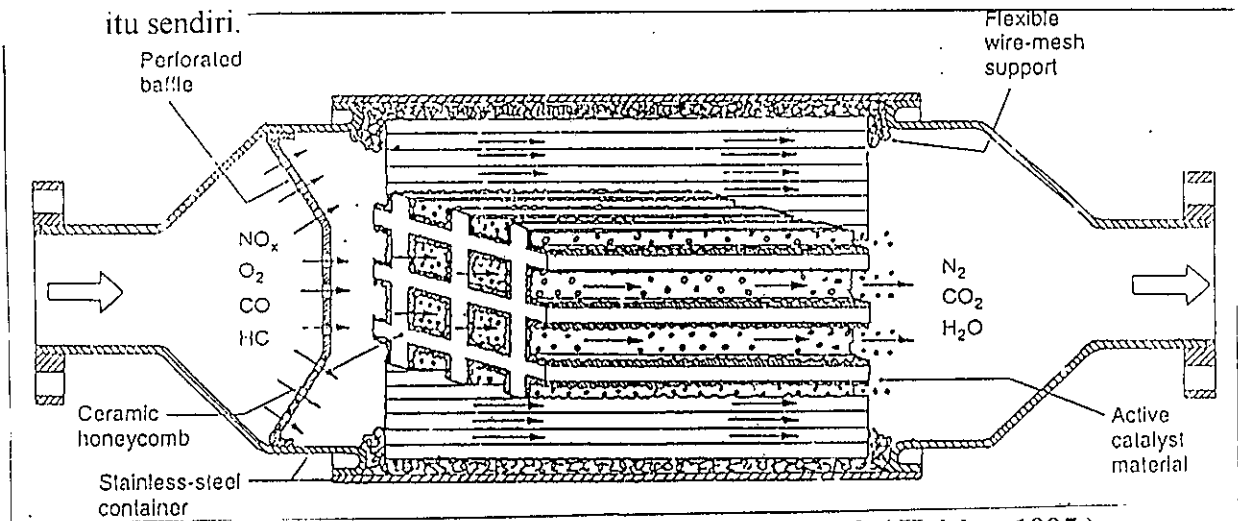
Gambar 2. 10. Catalytic converter ceramic pellet (Heisler, 1995)

- **Ceramic Honeycomb**

Ceramic honeycomb memiliki bahan yang sama dengan ceramic pellet dan bentuknya seperti sarang lebah. Struktur dari model ini lebih mudah pecah karena dipasang flexible wire mesh substrat diantara casing dan honeycomb.

Pemasangan ini berguna untuk melindungi honeycomb dari ekspansi panas thermal dan gangguan dari luar yang dapat merusak bentuk dari honeycomb

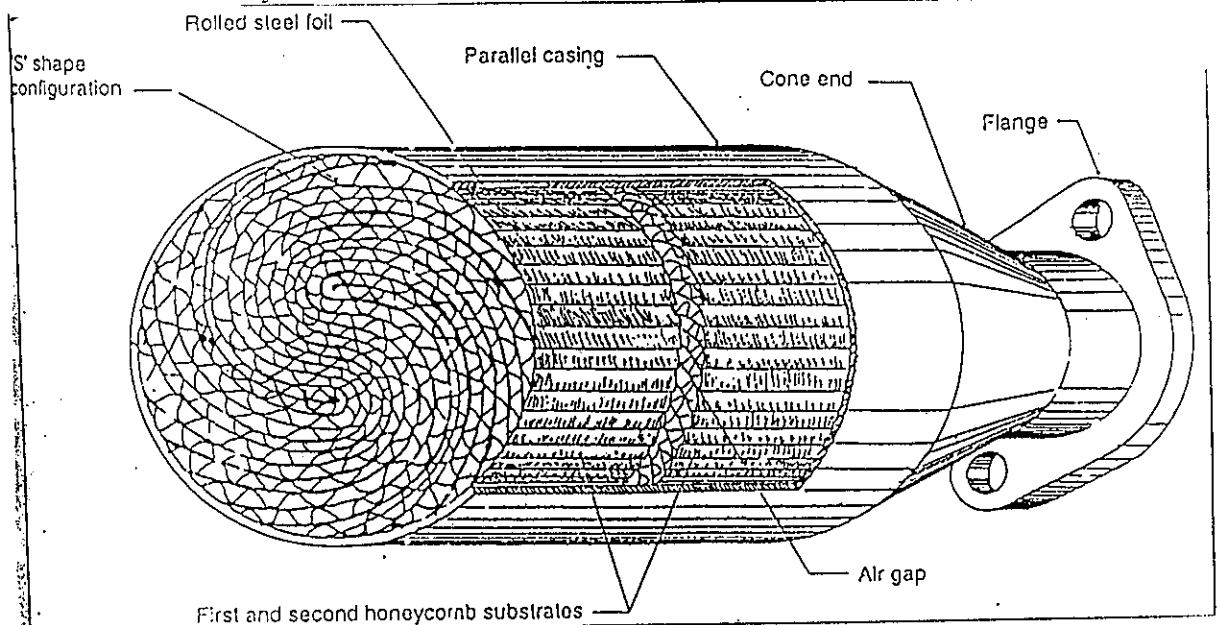
itu sendiri.



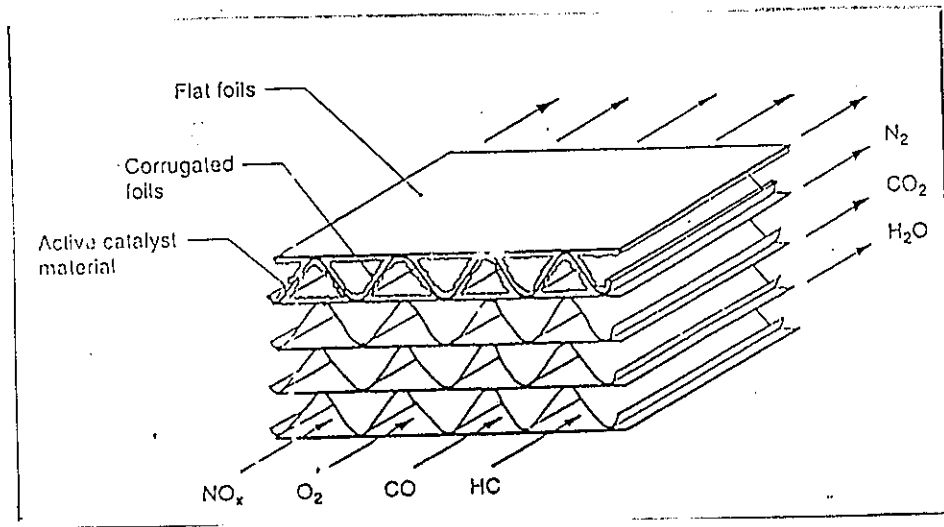
Gambar 2.11. Catalytic converter ceramic honeycomb (Heisler, 1995)

- **Metalic Honeycomb.**

Pada model metallic honeycomb mempunyai bentuk spiral yang berguna dalam menyediakan persebaran ekspansi termal yang membuatnya lebih tahan lama. Catalytic ini terbuat dari bahan alumina berpori (Al_2O_3)



Gambar 2.12. Catalytic converter metallic honeycomb (Heisler, 1995)



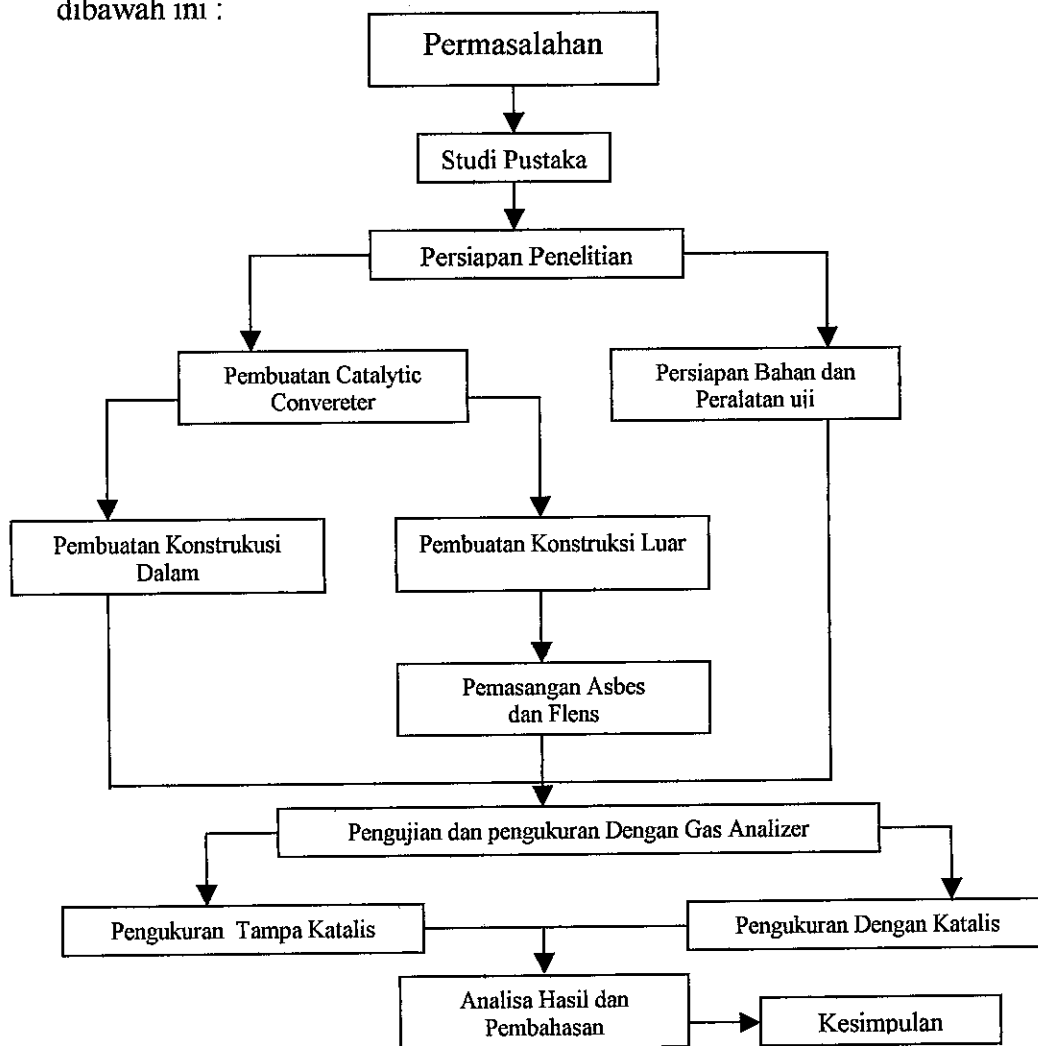
Gambar 2.13. Potongan metallic honeycomb (Heisler, 1995)

Bab III

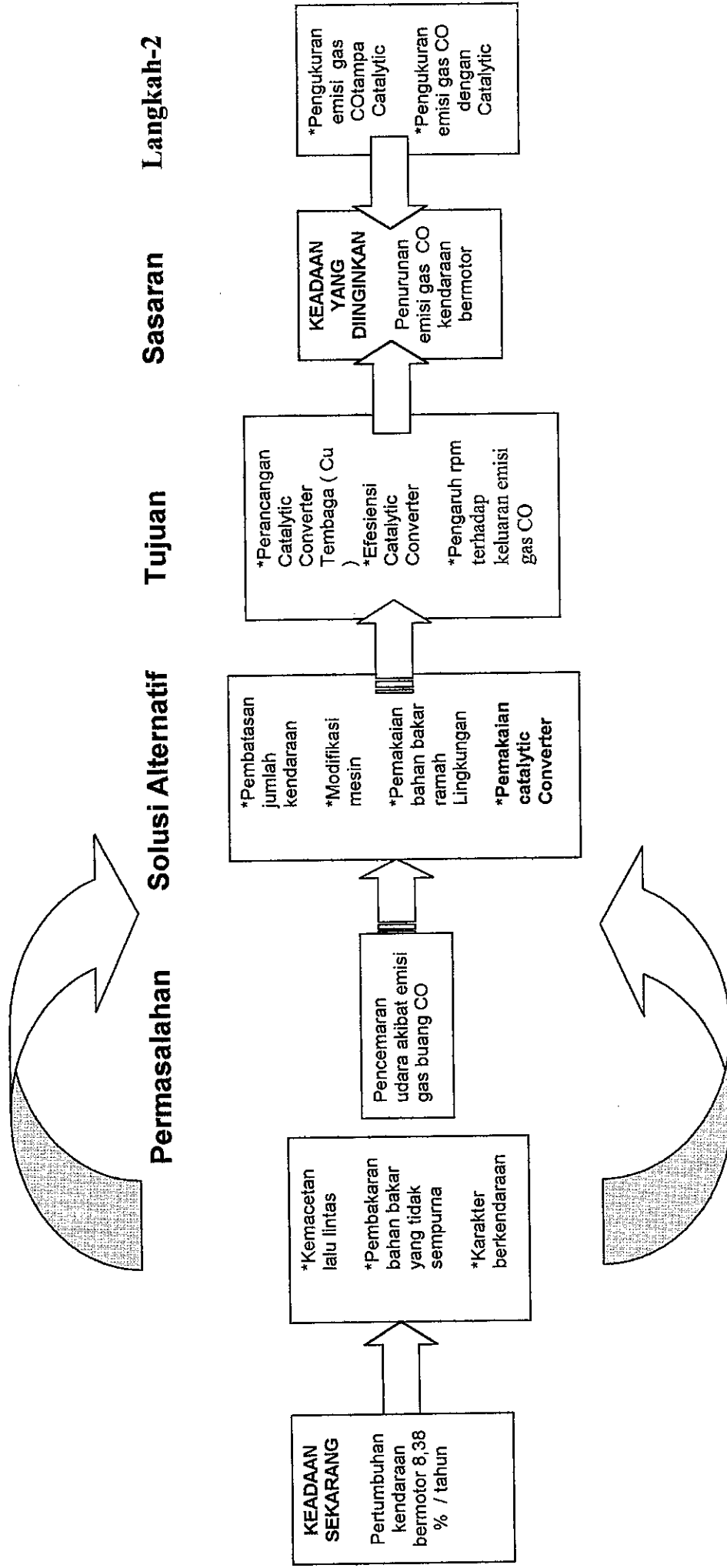
Metode Penelitian

3.1. Kerangka Penelitian.

Kerangka penelitian merupakan dasar pemikiran dan tahapan penelitian yang disusun secara sistematis. Kerangka tersebut diwujudkan dalam diagram alir kerangka kerja pelaksanaan penelitian seperti gambar dibawah ini :



Gambar 3.1. Kerangka penelitian



Gambar 3.2. Alur Pikir Permasalahan

3.2. Tahapan Penelitian

3.2.1. Studi Pustaka.

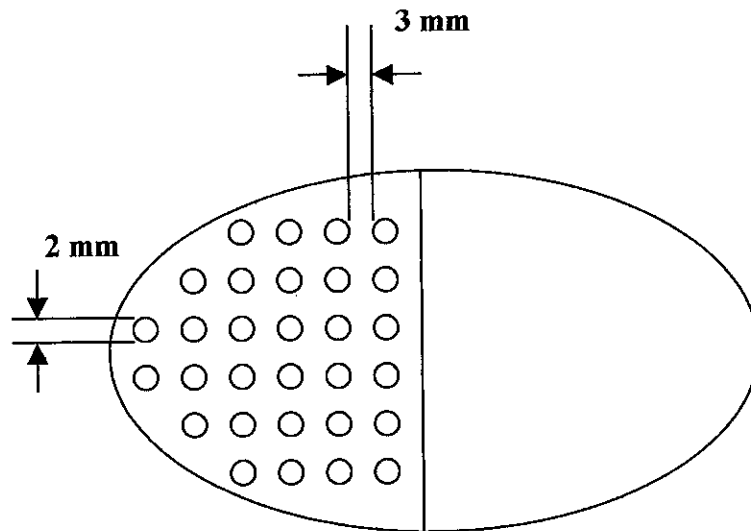
Studi Pustaka ini dilakukan untuk memperdalam bidang yang akan diteliti baik mengenai masalah polusi udara dan teknologi pengendalian emisi khususnya dalam pembuatan Catalytic Converter. Studi pustaka juga digunakan untuk membandingkan hasil penelitian atau mengembangkan penelitian terdahulu atau literature yang berhubungan dengan topik penelitian.

3.2.2. Bahan Penelitian.

Pembuatan bahan penelitian ini terdiri dari dua bagian yaitu konstruksi bagian dalam dan bagian luar Catalytic Converter. Konstruksi bagian dalam berupa material substrat dan washcoat sedangkan bagian luar berupa rumah katalis (chasing) dan Penopang.

- **Material Substart.**

Material substrat untuk konstruksi bagian dalam terbuat dari Tembaga (Cu) yang berbentuk plat berukuran 30 x 120 cm dengan ketebalan 0,6 mm. Plat tersebut kemudian dipotong dan dibentuk oval disesuaikan dengan bentuk chasingnya dan $\frac{1}{2}$ luasan diberi lubang berdiameter 2 mm, jumlah lubang 180, jarak antar lubang 3 mm dan jumlah plat 35 buah.



Gambar 3.3. Material Substrat

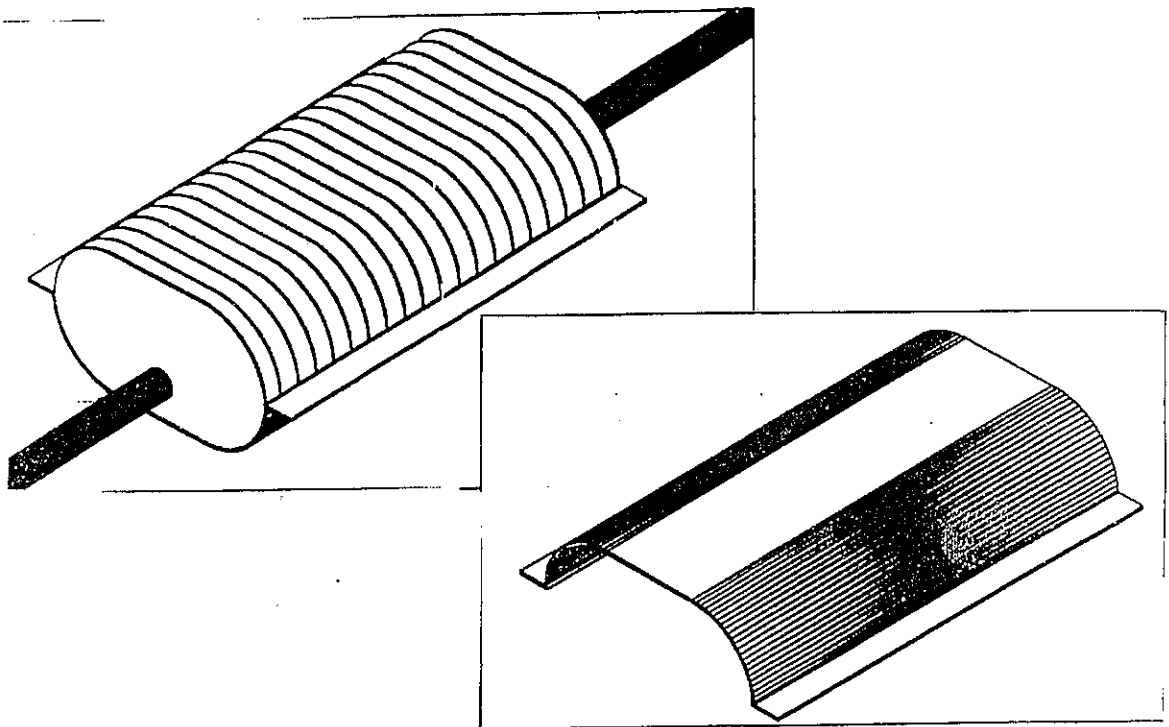
Penggunaan bahan ini karena tembaga memiliki beberapa kelebihan antara lain : (Degobet, 1995 dan Mirmanto, 1999)

- Tahan terhadap temperatur tinggi.
 - Mempunyai life time yang lebih lama dari jenis logam lain.
 - Mudah dijumpai di pasaran.
 - Harganya relatif murah
 - Mampu bentuk.
-
- **Washcoat.**
- Washcoat merupakan bahan yang dilapiskan pada material substrat yang berfungsi sebagai bahan aktif katalis. Washcoat tersebut dapat meningkatkan kemampuan reduksi emisi gas buang. Namun karena penelitian ini ingin

mengetahui kemampuan dan efektifitas logam Tembaga (Cu) tanpa adanya bahan lain yang dilapisi, maka tidak ditambahkan bahan tersebut.

- **Chasing.**

Chasing adalah bagian luar dari catalytic Converter yang dipilih sesuai bentuk umum yang sering digunakan terbuat dari plat baja. Chasing ini memiliki penutup yang dapat dibuka dan ditutup dengan baut, saat pergantian variasi jumlah sel kerangka bagian dalam. Chasing ini dipasang asbes yang berguna melindungi bagian dalam dengan konstruksi luar, peredam getaran, insulator panas dan menghindari kobocoran dari gas buang. Pada ujung Chasing dipasang Flange (penopang) dan diberi packing knalpot, sehingga pada saat pemasangan kondisi Catalytic Converter benar – benar rapat dan kencang.



Gambar 3.4 Konstruksi luar yang dapat dibuka dan ditutup

3.3. Persiapan Pengujian.

3.3.1. Penyiapan alat-alat Pengujian.

Alat – alat pengujian yang digunakan terdiri dari beberapa alat antara lain :

a. Mesin Uji.

Mesin uji yang digunakan adalah jenis mesin sedan dengan spesifikasi lengkap sebagai berikut :

- Merk : Toyota
- Type : Corona
- Tahun Pembuatan : 1980
- Volume silender : 1968 CC
- Jumlah silender : 4
- Perbandingan Komp. : 9 : 1
- Urutan Pengapian : 1 3 4 2
- Daya / rpm : 48 / 5400
- Celah Busi : 0,80 mm

b. Gas Anayzer.

Dalam pengujian ini menggunakan Gas Analyzer milik laboratorium Training center BMW ASTRA MOBIL Semarang dengan merk Tecnotest dengan display untuk pengukuran emisi gas CO, HC, CO₂, O₂, serta λ . Dengan spesifikasi sebagai berikut :

- Merk : Tecnotest
- Type : 488 A
- Volt : 220 V
- Frekwensi : 50 Hz
- Daya : 100 Watt
- Temp : 5 / 40 ° C
- Tekanan : 5 Kpa
- Nominal flow : 8 lt / min
- Minimum flow : 6 lt / min
- Warming : 15 Min
- Zero set : automatic

c. Pencatat waktu (Stop Watch).

Alat ini digunakan untuk mencatat waktu dimana mesin uji menghabiskan bahan bakar yang digunakan dalam pengujian gas buang.

d. Gelas Ukur.

Adalah tempat menampung bahan bakar untuk kebutuhan penelitian saat pengujian berlangsung dan mengukur jumlah bahan bakar yang telah terpakai.

e. TermocoupeL.

Alat ini digunakan untuk mengukur temperatur gas buang saat pengujian berlangsung.

f. Thacometer.

Alat ini digunakan untuk mengetahui dan melihat putaran mesin kendaraan pada saat melakukan perubahan variasi putaran.

3.3.2. Persiapan Kondisi Standart Mesin.

Sebelum pengujian emisi gas buang berlangsung, terlebih dahulu mempersiapkan kondisi standart mesin sehingga siap pada kondisi kerja.

Adapun kegiatan yang dilakukan adalah :

1. Mengganti minyak pelumas dan memeriksa dari adanya kebocoran – kebocoran.
2. Mengganti saringan udara dan membersihkan saringan udara.
3. Service karburator.
4. Service platina.
5. Mengganti packing silender cop.
6. Pemeriksaan celah busi dan kabel busi.
7. Pemeriksaan air pendingin radiator.
8. Pemeriksaan fan radiator.

3.4. Tahapan Pengujian.

Pengujian ini dilakukan dua tahapan yaitu : pertama pengujian logam yang digunakan sebagai bahan katalis dan kedua pengujian emisi gas buang kendaraan bermotor yang sebelumnya didahului dengan pemanasan mesin dan kalibrasi gas analyzer.

3.4.1 Pengujian Logam.

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui komposisi kimia bahan yang akan digunakan sebagai katalis. Pengujian ini dilakukan di Laboratorium Uji Logam PT. Texmaco Perkasa Engineering Kendal.

3.4.2. Pemanasan Mesin.

Tujuan dilakukannya pemanasan mesin adalah untuk mempersiapkan mesin supaya pada kondisi kerja. Adapun langkah – langkahnya adalah sebagai berikut :

- Menghidupkan mesin.
- Panaskan mesin selama 5 menit dalam keadaan idle.
- Memeriksa kondisi mesin uji dan memastikan semua berjalan normal dan instrumen berfungsi dengan baik.
- Mesin siap untuk melakukan uji emisi gas buang.

3.4.3. Kalibrasi Gas Analyzer.

Setelah mesin berada pada kondisi kerja kemudian dilakukan kalibrasi gas analyzer. Adapun langkah – langkahnya sebagai berikut ;

- Alat ukur dinyalakan dengan menghubungkan stop kontak pada sumber listrik dan tombol “ on “ ditekan.
- Colok ukur (probe sensor) dimasukkan dalam mulut knalpot sampai kedalaman 30 cm.
- Kemudian dibiarkan menyala sampai 15 menit sehingga alat ukur dapat melakukan pemanasan dalam menyerap emisi sebagai blanko untuk pengukuran. Pada display rpm akan menunjukkan angka 01.
- Setelah terpenuhi, display akan menunjukkan angka 21 yang berarti alat ukur sedang melakukan kalibrasi otomatis (auto zero process).
- Kemudian setelah selesai pada display rpm akan menunjukkan angka 03, yang berarti alat ukur pada kondisi stand by atau siap pakai. Dalam pengukuran alat ukur bekerja selama 5 menit. Lebih dari waktu tersebut maka alat ukur akan melakukan kalibrasi kembali.

3.4.4. Pengujian Emisi Gas Buang

Pengujian ini ada dua tahap yaitu :

1. Pengukuran Tanpa Catalytic Converter.

Pengukuran ini memiliki tujuan untuk mengetahui jumlah emisi gas buang yang dikeluarkan oleh mesin uji. Data yang didapatkan dari hasil

pengukuran ini digunakan sebagai pembanding dengan data pada pengukuran dengan menggunakan Catalytic Converter. Langkah – langkah pengukuran sebagai berikut :

1. Mesin dalam keadaan menyala dalam kondisi idle dan probe sensor telah dimasukkan dalam knalpot.
2. Stop watch dinyalakan.
3. Lihat gelas ukur yang berisi bahan bakar, ketika akan habis nilai pada gas analyzer mulai dicatat. Pencatatan dicari pada kondisi angka pada display yang telah stabil.
4. Ketika bensin telah habis, stop watch dimatikan (waktu yang tercatat merupakan waktu lamanya pengukuran. Dan gelas ukur kembali diisi untuk pengukuran selanjutnya.
5. Kemudian dengan langkah yang sama pula, pengukuran dilakukan kembali untuk putaran mesin yang berbeda yaitu idle, 1000 rpm, 2000 rpm, 3000 rpm lalu turun pada 2000 rpm, 1000 rpm dan kembali pada putaran idle.
6. Setelah langkah tersebut selesai, maka pengukuran pertama tanpa catalytic converter telah selesai.

2. Pengukuran Dengan Catalytic Converter.

Setelah pengukuran pertama selesai maka pengukuran kedua dilakukan dengan langkah – langkah sebagai berikut :

1. Setelah mesin dimatikan unit Catalytic Converter dipasang pada knalpot mesin dengan melepas flange sambungan pipa knalpot. Kencangkan baut flange dan pastikan dalam kondisi rapat dan tidak ada kebocoran.
2. Setelah unit Catalytic Converter terpasang, mesin dihidupkan kembali, lalu pengukuran diulangi kembali sesuai urutan pengukuran pertama.
3. Pengukuran dilakukan dengan pergantian variasi sel Catalytic Converter yaitu : 5, 10, 20 sel Tembaga murni.
4. Pengukuran pertama dan kedua dilakukan 3 x percobaan untuk tiap variasi putaran mesin.

3.5. Variabel Penelitian.

Pada penelitian ini terdapat tiga variabel pengujian yaitu

- Variabel kendali yang meliputi jenis bahan bakar yang digunakan adalah premium, tebal plat untuk katalis adalah 0,6 mm dan jumlah lubang plat yang digunakan adalah 180 lubang, diameter lubang 2 mm dan jarak antar lubang 3 mm.
- Variabel berubah yang meliputi variasi rpm mesin dari putaran idle, 1000 rpm, 2000 rpm, 3000 rpm, turun kembali ke 2000 rpm, 1000 rpm dan idle. Jumlah plat yang digunakan 5, 10, 20 buah dan jarak plat menyesuaikan jumlah plat.

- Variabel respon yang meliputi konsentrasi emisi gas tanpa katalis dan konsentaris emisi gas dengan katalis.

3.6. Analisis data.

Data yang diperoleh akan dianalisa secara deskriptif dengan melihat melalui tampilan grafik-grafik yang ada untuk mengetahui seberapa berarti pengaruh variasi – variasi yang dilakukan pada penelitian ini terhadap emisi gas buang CO mesin uji.

3.7. Tempat Penelitian.

Pengujian dilakukan di laboratorium engine BMW ASTRA MOBIL Siliwangi Semarang.

Bab IV

Analisa Data dan Pembahasan

4.1. Umum.

Hasil Pengujian yang didapatkan dari penelitian yang telah dilakukan ini akan disajikan dalam bentuk tabel dan gambar grafik – grafik. Hal tersebut dilakukan untuk mempermudah analisis data, pembahasan dan penarikan kesimpulan dari data yang telah disajikan.

4.2. Hasil Pengujian Logam.

Dari hasil pengujian yang telah dilakukan di PT Texmaco Perkasa Engineering, diperoleh komposisi kimia bahan pada tabel 3.1. dibawah ini :

Tabel 3.1. Hasil pengujian logam Tembaga

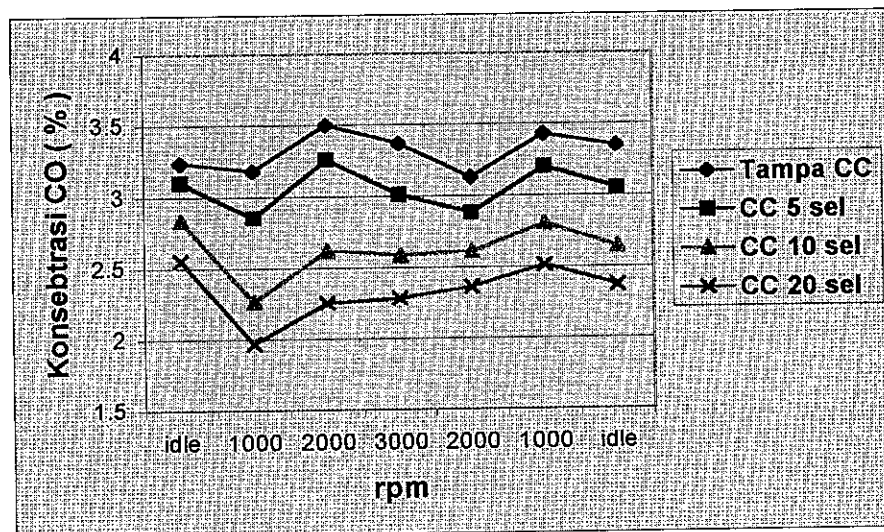
No	Parameter	Kadar (%)	No	Parameter	Kadar (%)
1	Cu	99,993	6	Mn	0
2	Si	0,0015	7	Cr	0
3	S	0,0049	8	Mo	0
4	C	0	9	Mg	0
5	P	0	10	Fe	0

(Sumber : Hasil Uji di PT. Texmaco , 2003)

Dari data tersebut dapat diketahui bahwa jenis logam yang digunakan untuk katalis pada catalytic Converter adalah tembaga murni dengan kadar 99,993 %.

4.3. Pengaruh Pemakaian Catalytic Converter Terhadap Penurunan Konsentrasi Emisi Gas Carbon Monoksida.

Dari hasil pengujian yang dilakukan terhadap mesin Toyota Corona buatan tahun 1980 dengan penambahan Catalytic Converter Tembaga (Cu) murni 5 sel, 10 sel dan 20 sel diperoleh data konsentrasi emisi gas Carbon Monoksida (data lengkap pada lampiran). Dari data tersebut kemudian dibuat gambar berupa grafik putaran mesin sebagai sumbu x dan konsentrasi emisi gas CO pada sumbu y.



Gambar 4.1. Grafik pengaruh pemakaian Catalytic Converter terhadap konsentrasi CO yang dihasilkan

Dari gambar 4.1. menunjukkan bahwa emisi CO secara keseluruhan mengalami penurunan konsentrasi pada setiap variasi putaran naik, dari putaran idle hingga putaran 3000 rpm dan pada putaran turun sampai

putaran idle yang dilakukan saat pengujian berlangsung. **Penurunan tersebut akibat dari pemakaian Catalytic converter yang dipasang pada saluran gas buang kendaraan.** Dari gambar tersebut terlihat bahwa penurunan emisi CO terbesar adalah pada lapisan katalis yang berjumlah 20 sel. Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan jumlah lapisan katalis yang digunakan dan dipasang pada konstruksi dalam Catalytic Converter akan meningkatkan penurunan konsentrasi emisi CO lebih besar.

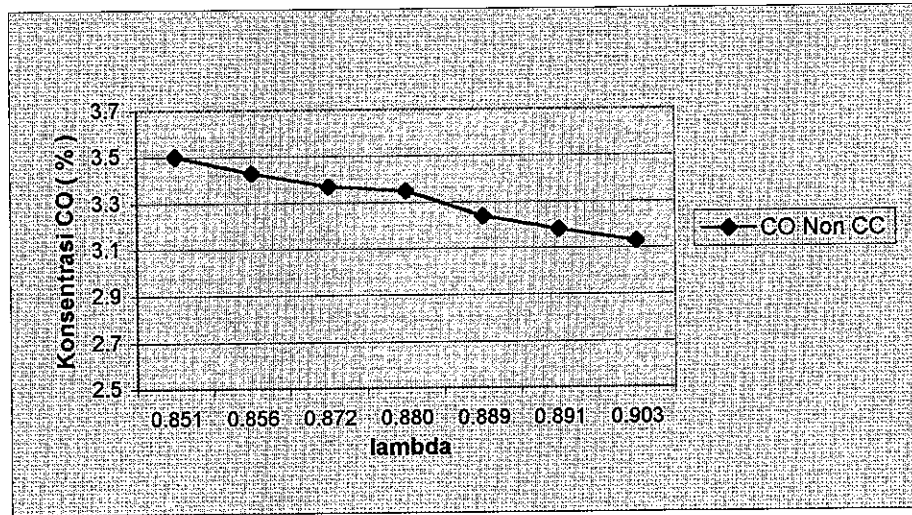
4.4. Pengaruh Putaran Mesin Terhadap Emisi Gas Buang Dengan penambahan Catalytic Converter.

1. Pengaruh putaran mesin terhadap konsentrasi CO.

Dari hasil pengujian yang dilakukan dapat dilihat pada gambar 4.1 menunjukkan bahwa emisi CO pada putaran idle sampai putaran maksimum 3000 rpm dan kemudian turun kembali sampai putaran idle mengalami fluktuasi (naik turun). Ketidakteraturan konsentrasi emisi CO ini dikarenakan tidak homogenya campuran bahan bakar dan udara yang digunakan untuk proses pembakaran. Konsentrasi CO sangat tergantung pada campuran bahan bakar dan udara pada karburator yang kemudian masuk pada silinder.

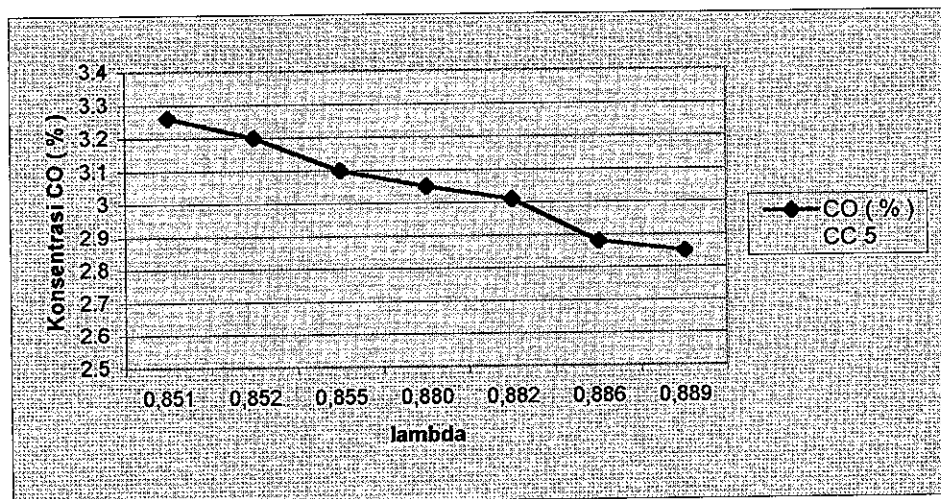
Pada alat ukur gas analyzer yang digunakan pada pengujian ini terdapat lambda sensor yang dapat mengetahui homogenitas campuran. Dimana pada hasil yang dicatat menunjukkan bahwa nilai lambda (λ)

semakin turun maka campuran bahan bakar dan udara semakin kaya sehingga terjadi kekurangan udara, maka mudah terbentuk gas CO.



Gambar 4.5. Pengaruh Lambda terhadap emisi CO tanpa CC

Naik turunnya CO karena perubahan nilai λ terlihat pada gambar 4.5. Dari gambar tersebut dapat diketahui bahwa konsentrasi CO yang naik turun sangat tergantung dari perubahan nilai lambda.



Gambar 4.6. Pengaruh Lambda terhadap emisi CO dengan CC 5

Dari gambar diatas menunjukkan bahwa nilai lambda sangat mempengaruhi naik turunnya konsentrasi CO pada pemakaian Catalytic Converter 5 sel. Tampak bahwa nilai lambda semakin kecil akan meningkatkan konsentrasi CO, begitu pula sebaliknya nilai lambda semakin besar mendekati angka 1 maka konsentrasi CO menjadi rendah. Hal ini juga berlaku pada pemakaian Catalytic Converter 10 sel dan 20 sel memiliki kecenderungan (tren) yang sama

Maka dapat ditegaskan kembali bahwa campuran bahan bakar dan udara sangat berpengaruh terhadap jumlah konsentrasi CO yang dikeluarkan lewat knalpot. Campuran kaya konsentarsi CO tinggi dan campuran miskin konsentrasi CO rendah.

Tren yang seharusnya terjadi adalah dengan bertambah tingginya putaran mesin maka konsentrasi CO akan semakin rendah. Hal ini karena putaran yang semakin tinggi akan menyebabkan campuran bahan bakar dan udara semakin miskin dan pembakaran semakin sempurna akibat dari suhu dalam ruang bakar yang tinggi.

Ketidakteraturan konsentrasi emisi CO akibat tidak homogennya campuran bahan bakar dan udara untuk proses pembakaran juga disebabkan karena system pencampuran bahan bakar yang menggunakan system konvensional (karburator). Pada jenis kendaraan yang sudah menggunakan system EFI (Electronic Fuel Injection) jumlah bahan bakar diatur (dikontrol) lebih akurat oleh komputer dengan mengirimkan bahannbakar ke silinder melalui injector. Sistem EFI menentukan jumlah bahan bakar yang optimal (

tepat) disesuaikan dengan jumlah dan temperatur udara yang masuk, kecepatan mesin, temperatur air pendingin dan kondisi penting lainnya. Sistem ini menjamin perbandingan udara dan bahan bakar yang ideal dan efisien bahan bakar yang tinggi pada setiap saat. Untuk mesin 4 tak dalam kondisi normal dengan system EFI emisi CO yang dihasilkan berkisar antara 0,5 s/d 1,5 %.

4.5. Efisiensi Emisi Gas Buang CO oleh Catalytic Converter.

Dari pengujian yang dilakukan dengan penambahan Catalytic Converter didapatkan hasil bahwa terjadi removal atau penurunan pada konsentrasi emisi gas buang Carbon Monoksida pada tiap variasi sel yang dilakukan.

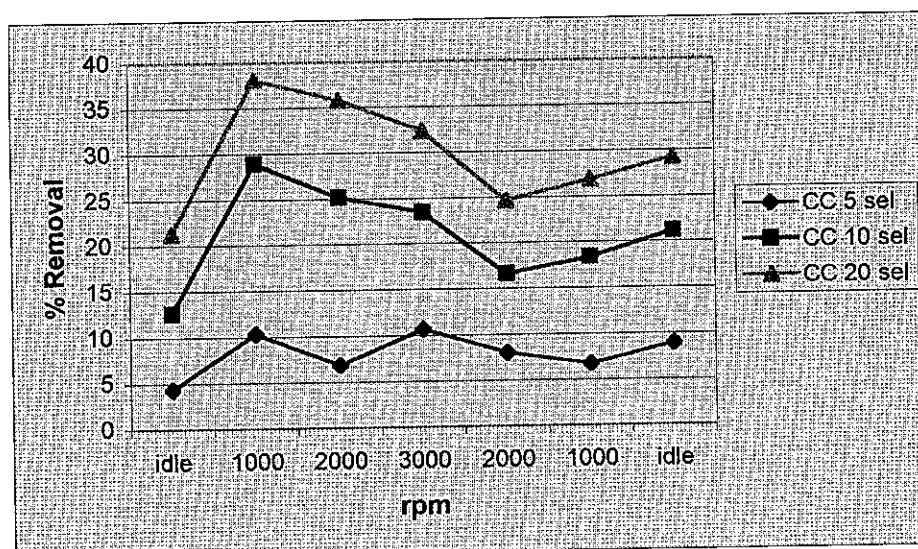
1. Efisiensi Katalis Tembaga (Cu)

Efisiensi removal merupakan indikasi reduksi dari emisi gas buang CO oleh Catalytic Converter. Efisiensi removal ini tergantung oleh factor utama yaitu air fuel ratio atau lambda . Kemampuan removal dari Catalytic Converter Tembaga untuk mereduksi konsentrasi gas CO pada mesin uji dapat dilihat pada gambar 4.9.

Efisiensi removal konsentrasi CO Catalytic Converter Cu 5 sel tiap putaran mesin berbeda. Efisiensi terbesar terjadi pada putaran turun 3000 rpm yaitu sebesar 10,68 %. Sedangkan efisiensi terendah terjadi pada putaran idle yaitu sebesar 4,32 %.

Pada Catalytic Converter Cu 10 sel rata – rata lebih besar dibandingkan dengan 5 sel pada setiap variasi putarannya. Efisiensi

removal tertinggi pada putaran naik 1000 rpm yaitu sebesar 28,9 %. Sedangkan efisiensi terendah pada putaran idle yaitu sebesar 12,65 %.



Gambar 4.9. Grafik efisiensi removal emisi CO dengan Catalytic Converter Tembaga (Cu) 5 sel , 10 sel dan 20 sel

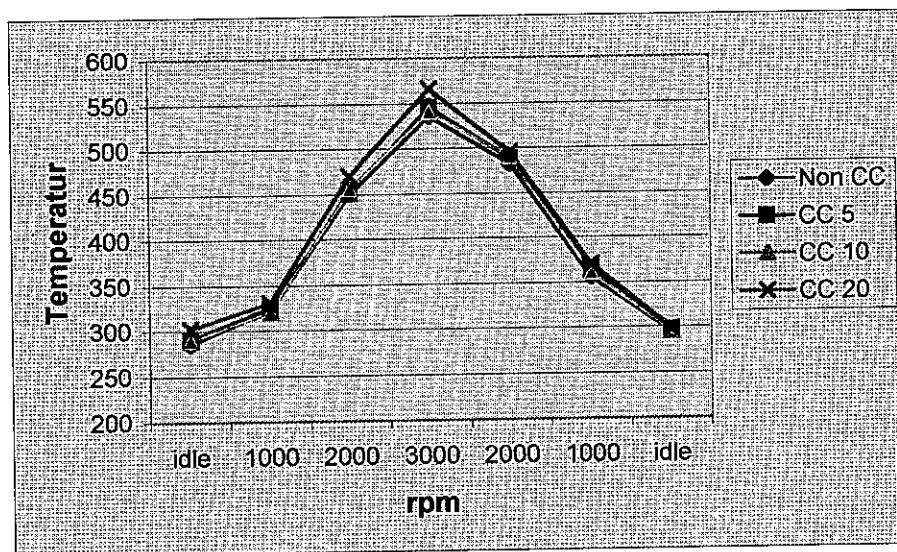
Efisiensi removal semakin meningkat untuk tiap variasi putaran mesinnya pada jumlah katalis 20 sel. Efisiensi tertinggi pada putaran naik 1000 rpm yaitu sebesar 38,05 %. Sedangkan efisiensi terendah terjadi pada putaran turun 2000 rpm yaitu sebesar 21,29 %.

Pada putaran idle untuk variasi sel yang digunakan menunjukkan bahwa tingkat efisiensi removal CO masih rendah, hal ini disebabkan karena suhu pembakaran dan suhu dalam chasing yang belum tinggi sehingga CO belum teroksidasi secara sempurna. Pada putaran selanjutnya

terjadi fluktuasi efisiensi removal CO yang diakibatkan dari tidak homogenitasnya campuran bahan bakar dan udara sejak dari suplai awal exhaust manifold sebelum masuk ke Catalytic Converter. Hal ini dapat dilihat dari naik turunnya nilai lambda pada tiap variasi putaran dan variasi sel yang digunakan dalam penelitian.

Dari gambar 4.9 dapat diketahui bahwa dengan penambahan sel katalis yang digunakan akan meningkatkan efisiensi removal CO dan sekaligus menunjukkan efektifitas Catalytic Converter Tembaga Cu. Namun penambahan jumlah sel yang digunakan sangat tergantung dari konstruksi Chasing (konstruksi luar). Kesulitan pemasangan pada saluran buang karena ukuran yang terlalu panjang, membatasinya.

4.6 Pengaruh Pemakaian Catalytic Converter Terhadap Temperatur.



Gambar 4.10. Grafik pengaruh pemakaian Catalytic Converter terhadap temperatur gas buang

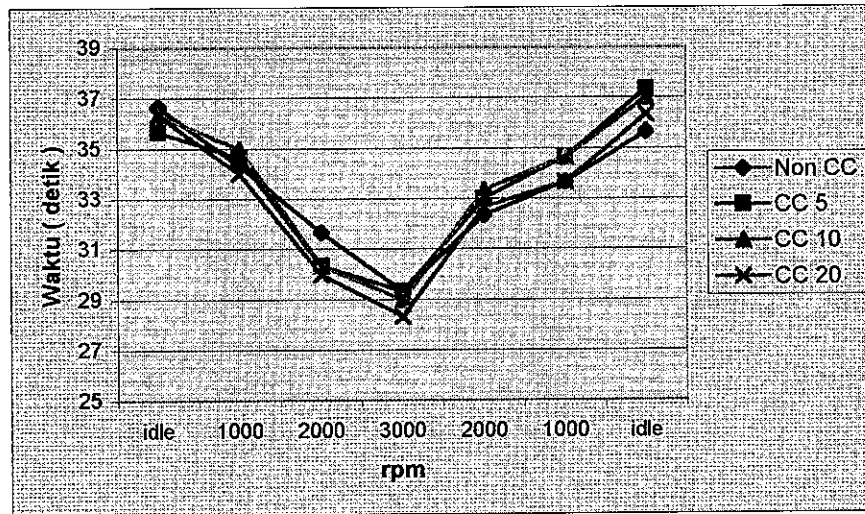
Dari gambar 4.10 terlihat bahwa putaran mesin mempengaruhi temperatur. Putaran mesin yang semakin tinggi akan meningkatkan temperatur gas buang pada saat putaran naik. Sedangkan temperatur mengalami penurunan kembali pada saat putaran turun.

Dalam sistem Catalytic Converter terdapat istilah **Purification Rate** yaitu kemampuan katalis dalam mereduksi Konsentrasi emisi gas buang secara efisien bila temperatur diatas 300°C . Atau dengan arti lain katalis tidak dapat bekerja secara efisien / kurang efisien bila temperatur kurang dari 300°C . Meski demikian jumlah sedikit banyaknya emisi yang dapat direduksi sangat tergantung dari suplai awal emisi dari exhaust manifold yang erat hubungannya dengan Campuran bahan bakar dan udara.

Dari gambar tersebut terlihat bahwa penambahan jumlah sel tidak begitu berarti terhadap perubahan temperatur. Boleh dikatakan bahwa pemakaian Catalytic Converter pada saluran buang tidak mempengaruhi temperatur gas buang kendaraan bermotor.

Meskipun pengukuran temperatur dilakukan pada titik sebelum Catalytic Converter dipasang, bila pemasangan tersebut menimbulkan hambatan yang cukup besar sehingga terjadi tekanan balik yang cukup tinggi secara otomatis temperatur akan menjadi tinggi. Tetapi kenyataan menunjukkan bahwa temperatur sebelum pemasangan catalytic Converter dan sesudahnya tidak mengalami perubahan yang cukup berarti. Bahkan bila tekanan balik cukup besar dapat menyebabkan kendaraan / mesin menjadi mati.

4.7. Pengaruh Waktu Yang Dibutuhkan Untuk Menghabiskan Bahan Bakar.



Gambar 4.11. Grafik Waktu Yang Dibutuhkan Untuk Menghabiskan Bahan Bakar

Dari gambar di atas terlihat bahwa waktu yang dibutuhkan untuk menghabiskan bahan bakar dalam gelas ukur sebanyak 200 ml tiap variasi putaran mesin tidak sama. Dari gambar tersebut menunjukkan bahwa peningkatan putaran mesin berpengaruh terhadap pemakaian bahan bakar, yaitu semakin tinggi putaran mesin waktu yang dibutuhkan untuk pemakaian bahan bakar semakin singkat atau dengan kata lain bahan bakar pada putaran tinggi lebih cepat habis untuk ukuran bahan bakar uji sebanyak 200 ml.

Penggunaan Catalytic Converter dari gambar tersebut menunjukkan tidak terjadi perubahan yang cukup berarti. Sehingga pemakaian Catalytic Converter tidak berpengaruh terhadap pemakaian bahan bakar kendaraan.

Bab V

Kesimpulan dan Saran

5.1. Kesimpulan.

Dari penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Catalytic Converter Tembaga (Cu) memiliki keistimewaan dimana konstruksinya mudah dibongkar pasang untuk pengantian sel katalis, penyusunan sel katalis dengan model zig zag dan cukup ekonomis.
2. Catalytic Converter cukup efisien untuk mereduksi emisi gas CO, dimana efisiensi removal emisi gas buang CO untuk tiap variasi putaran mesin dan variasi jumlah sel berbeda. Dimana setiap penambahan jumlah sel efisiensi semakin meningkat.
 - Katalis 5 sel :
 - Efisiensi tertinggi sebesar 10,68 % terjadi pada putaran 3000 rpm.
 - Efisiensi terendah sebesar 4,32 % terjadi pada putaran idle.
 - Katalis 10 sel :
 - Efisiensi tertinggi sebesar 28,9 % terjadi pada putaran naik 1000 rpm.
 - Efisiensi terendah sebesar 12,65 % terjadi pada putaran idle.

- Katalis 20 sel
 - Efisiensi tertinggi sebesar 38,05 % pada putaran naik 1000 rpm.
 - Efisiensi terendah sebesar 21,29 % pada putaran turun idle

3. Pengaruh putaran mesin dan performance adalah sebagai berikut :

- Putaran mesin mempengaruhi besarnya keluaran konsentrasi emisi gas buang CO baik tanpa Catalytic Converter maupun dengan menggunakan Catalytic Converter.
- Pemakaian Catalytic Converter tidak begitu berpengaruh terhadap perubahan temperatur gas buang yang diakibatkan dari tekanan balik akibat adanya hambatan dari pemasangannya.
- Pemakaian Catalytic Converter juga tidak begitu berpengaruh terhadap pemakaian bahan bakar yang digunakan pada kendaraan. Hal ini menunjukkan bahwa pemasangan Catalytic Converter secara umum tidak berpengaruh terhadap performance mesin kendaraan bermotor.

5.2. Saran.

1. Catalytic Converter Tembaga (Cu) murni ini dapat dijadikan sebagai alternatif pengganti Catalytic Converter berbahan baku logam yang mahal yang telah ada untuk diterapkan atau digunakan sebagai alat reduksi emisi gas CO kendaraan bermotor.

Daftar Pustaka

- Arismunandar, Wiranto**, 1983, *Penggerak Mula*, Penerbit ITB, Bandung
- Arya, W. Wisnu**, 1999, *Dampak Pencemaran Lingkungan*, Cetakan Kedua, Penerbit Andi Offset, Yogyakarta.
- Arcadio P. Sincero Sr, Gregoria A. Aincero**, 1995, *Environmental Engineering A Design Approach. A Prentice Hall Company*, New Jersey.
- Aryanto A, Razif M**, 2000, *Study Penggunaan Tembaga (Cu) Sebagai Catalytic Converter Pada Knalpot Sepeda Motor Dua Tak Terhadap Emisi Gas CO (jurnal)*, Teknik Lingkungan, ITS.
- Bapedal**, 1996, *Pedoman Teknis Pengendalian Pencemaran Udara*, Semarang.
- Cahyono A, Razif M, Mursid M**, *Pengaruh Katalis Oksida Tembaga + Krom Terhadap Putaran Mesin kendaraan Bermotor (jurnal)*, Teknik Lingkungan & Teknik Mesin ITS.
- Darsono, Valentino**, 1995, *Pengantar Ilmu Lingkungan*, Edisi revisi, Penerbit Universitas Airlangga, Yogyakarta.
- Dirjen Perhubungan Darat**, 2000, *Program Langit Biru dan Konservasi Energi (Jurnal)*.
- Harsanto**, 2001, *Pencemaran Udara, Pengaruh Serta Cara Penanggulangannya (Jurnal)*

- Heinz Heisler**, 1995, *Advanced Engine Tecnology* Hodder Headline Group, London.
- Howard S Peavy, Donald R Rowe, George Tchaobanoglous**, 1985, *Environmental Engineering*, Megraw – Hill Book Co.
- Intisari**, 1998, **Merenda Birunya Langit Kota** (Jurnal).
- Pelangi**, 1997, *The Study on The Intregated air Quality Management for Jakarta Metropolitan Area* (Jurnal).
- Pelangi**, 1999, *Upaya Mengurangi Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor* (Jurnal).
- Sitepoe, Mangku** , 1997, *Usaha Mencegah Pencemaran Udara*, Terbitan pertama, PT Gransindo, Jakarta
- Springer – Verlag New York Inc**, 1970, *Catalyst Hanbook. Walfe Scintific Book*, London – England.
- Sunu, Pramudya**, 2001, *Melindungi Lingkungan dengan Menerapkan ISO 14001*, Terbitan pertama, PT. Gramedia Indonesia, Jakarta.
- Surdia, Tata**, 1985, *Pengetahuan Bahan Teknik*, Cetakan Pertama, PT Pradnya Paramita, Jakarta.
- Toyota Training center**, 2000, *Emission Control Step Two*.
- V.A.W Heller**, 1995, *Fundamental Motor Vehicle Technology*, Edisi ke-4, FIMI Stanley Thorne (Publisehers) Ltd.
- William L.Husselbee**, 1985, *Automotive Cooling Exhaust, Fuel and Lubricating Systems. A Prentice Hall Company*, Reston, Virginia.

**Wolf, PC, 1971, *Carbon Monoxide – Measurement and Monitorong in Urban
Air Environment*, Sei and Technol.**